



**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ**

*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal*

**HERALD  
of the Azerbaijan Engineering Academy**

*The international science-technical journal*

**ВЕСТНИК  
Азербайджанской Инженерной Академии**

*Международный научно-технический журнал*

Cild 15. № 4  
Vol. 15. № 4  
Том 15. № 4

**BAKİ – 2023**

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının  
XƏBƏRLƏRİ**

*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal*

**Baş redaktor – akademik A.M. Paşayev**

**Baş redaktorun müavini – akademik Ə.X. Cənəhmədov**

**REDAKSIYA HEYƏTİ:**

akademik **Ə.M. Abbasov**, akademik **B.H. Əliyev**, akademik **C.C. Əsgərov**, müxbir üzv **K.Ə. Əsgərov**,  
akademik **N.H. Cavadov**, akademik **M.Y. Cavadov**, müxbir üzv **M.H. Həsənov**,  
müxbir üzv **Ə.G. Hüseynov**, professor **A.Y. Qriqoryev** (*Belarus*), akademik **B.V. Qusev** (*Rusiya*),  
müxbir üzv **K.T. Nəbizadə**, akademik **H.Ə. Məmmədov**, akademik **G.H. Məmmədova**,  
akademik **H.F. Mirələmov**, akademik **S.Y. Müslümov**,  
müxbir üzv **S.R. Rəsulov**, akademik **İ.R. Sadıqov**

**REDAKSIYA ŞURASI:**

prof. **N. Antoneski** (*Rumuniya*), prof. **Konstantin Bravo** (*İsrail*), prof. **İqor Emri** (*Sloveniya*),  
prof. **F. Franek** (*Avstriya*), prof. **K. Fridrix** (*Almaniya*), akademik **B.T. Jumaqulov** (*Qazaxıstan*),  
prof. **G.S. Kalda** (*Polşa*), prof. **D. Mavrakis** (*Yunanıstan*),  
akademik **S.V. Panin** (*Rusiya*), akademik **A.İ. Prangişvili** (*Gürcüstan*),  
akademik **R.Z. Saqdeyev** (*ABŞ*), prof. **Junq-Young Son** (*Koreya*),  
akademik **Ə.X. Şahverdiyev** (*Rusiya*), akademik **A.İ. Vasilyev** (*Ukrayna*),  
prof. **A.İ. Volçenko** (*Ukrayna*), prof. **Tuncay Yalçınkaya** (*Türkiyə*)

---

---

*The international science-technical journal*  
**HERALD**  
**of the Azerbaijan Engineering Academy**

**Editor-in-chief – academician A.M. Pashayev**

**Deputy editor-in-chief – academician A.Kh. Janahmadov**

**EDITORIAL BOARD:**

academician **A.M. Abasov**, academician **B.H. Aliev**, academician **J.J. Asgarov**,  
corresponding member **K.A. Asgarov**, academician **N.H. Javadov**, academician **M.Y. Javadov**,  
corresponding member **M.H. Hasanov**, corresponding member **A.G. Huseynov**,  
professor **A.Ya. Grigoriev** (*Belarus*), academician **B.V. Gusev** (*Russia*),  
corresponding member **K.T. Nabizada**, academician **G.A. Mamadov**,  
academician **G.H. Mamadova**, academician **H.F. Miralamov**,  
academician **S.Y. Muslimov**, corresponding member **S.R. Rasulov**, academician **I.R. Sadigov**

**EDITORIAL ADVISORY BOARD:**

professor **N. Antonesku** (*Romania*), professor **Konstantin Bravo** (*Israel*),  
professor **İgor Emri** (*Slovenia*), professor **F. Franek** (*Austria*), professor **K. Friedrich** (*Germany*),  
professor **G.S. Kalda** (*Poland*), professor **Junq-Young Son** (*Korea*), professor **D. Mavrakis** (*Greece*),  
academician **S.V. Panin** (*Russia*), academician **A.I. Prangishvili** (*Georgia*),  
academician **R.Z. Saqdeev** (*USA*), academician **A.Kh. Shahverdiyev** (*Russia*),  
academician **A.I. Vasilyev** (*Ukraine*), **A.I. Volchenko** (*Ukraine*),  
professor **Tuncay Yalcinkaya** (*Turkey*), academician **B.T. Zhumagulov** (*Kazakhstan*)

**TƏSİSÇİ: “Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası”** ictimai birliyi.

Jurnal 2009-cu ilin noyabr ayından nəşr olunur. Dövrüliyi ildə 4 dəfədir.

Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində qeydiyyatda alınmışdır.

Qeydiyyat № 2965, 23.06.2009-cu il.

Jurnal Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının reyestrinə namizədlik və doktorluq dissertasiyalarının nəticələrinin dərc olunması üçün daxil edilmişdir.

Jurnal “Rusiyanın elmi sitat indeksləşməsi” (RESİ) layihəsinə daxil edilib.

Jurnalın tam mətn elektron versiyası “Rusiya Universal Elmi Elektron kitabxanasının bazası”nda mövcuddur (<http://www.elibrary.ru>).

Nəşr olunmuş məqalələrə DOI (Obyektin Rəqəmsal İdentifikatoru) verilir.

Jurnal International Scientific Indexing (ISI) və Scientific Journal Impact Factor (SJIF) Beynəlxalq Elmi Sitatlaşma Bazalarına yerləşdirilib, SERTİFİKATLAR verilib, impakt faktor ISI – 1.888 və impakt faktor SJIF – 8.503.

Jurnal «Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0» Beynəlxalq lisenziya ilə lisenziyalasdırılıb.

Jurnal Web of Science Beynəlxalq Elmi Sitatlaşma Bazasında yerləşdirilməyə təqdim olunub.

Jurnala “AzərPoçt” ASC-nin poçt bölmələrində abunə olmaq olar. Abunə il boyu davam edir. Abunə indeksi: Hüquqi və fiziki şəxslər üçün – 1156.

**Redaksiyanın ünvanı:**

Puşkin küçəsi 30, 3-cü mərtəbə,  
Bakı ş. AZ1010,  
Azərbaycan Respublikası  
Tel/Faks: (+99412) 598 24 52  
E-mail: amaxeber@yahoo.com  
<http://ama.com.az>

**FOUNDER:** Public union

“Azerbaijan Engineering Academy”

Journal published since November, 2009.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration №2965, June 23, 2009 was given by Ministry of Justice of the Republic of Azerbaijan.

Journal was included into the list of education for publication of result of candidate and doctoral thesis by the supreme Attestation Commission Attached to the President of the Republic of Azerbaijan.

The journal is part of the project “Russian Science Citation Index” (RSCI).

The full text of journal is available electronically through Russian Universal Scientific Electronic Library database (<http://www.elibrary.ru>).

All articles are assigned the DOI (Digital Object Identifier).

Journal was included into International Scientific Indexing (ISI) and Scientific Journal Impact Factor (SJIF), issued a CERTIFICATES, impact factor ISI – 1.888 and impact factor SJIF – 8.503.

Journal licensed under Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0.

The journal is submission to be posted on the International Database of Scientific Citation Web of Science.

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “AzerPochta”  
Subscription index: For juristic and for natural persons – 1156.

**Address of editorial offices:**

Pushkin str., 30, 3 floor,  
Baku, AZ1010,  
Azerbaijan Republic  
Tel/Fax: (+99412) 598 24 52  
E-mail: amaxeber@yahoo.com  
<http://ama.com.az>

**УЧРЕДИТЕЛЬ:** Общественное объединение «Азербайджанская Инженерная Академия».

Журнал издается с ноября 2009 года.

Периодичность: 4 раза в год.

Зарегистрирован Министерством Юстиции Азербайджанской Республики.

№ регистрации: 2965 от 23.06.2009 г.

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций Высшей аттестационной комиссии при Президенте Азербайджанской Республики.

Журнал представлен в проекте «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Полнотекстовая электронная версия журнала размещена в базе данных Российской универсальной научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>).

Опубликованным статьям присваивается Цифровой Идентификатор Объекта DOI.

Журнал размещен в Международных базах научного цитирования International Scientific Indexing (ISI) и Scientific Journal Impact Factor (SJIF), выданы СЕРТИФИКАТЫ, импакт фактор ISI – 1.888 и импакт фактор SJIF – 8.503.

Журнал лицензирован по международной лицензии Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0.

Журнал представлен к размещению в международной базе научного цитирования Web of Science (WoS).

Подписка на журнал осуществляется в отделениях ОАО «Азербайджанская Почта» и продолжается в течение года. Индекс подписки для юридических и физических лиц: 1156.

**Адрес редакции:**

ул. Пушкина, 30, 3-й этаж,  
Баку, AZ1010,  
Азербайджанская Республика,  
Тел./Факс: (+99412) 598 24 52  
E-mail: amaxeber@yahoo.com  
<http://ama.com.az>



ISSN 2076-0515 (print)  
ISSN 2789-8245 (online)

© Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası, 2023  
© Azerbaijan Engineering Academy, 2023  
© Азербайджанская Инженерная Академия, 2023

# M Ü N D Ə R İ C A T

## Aviasiya

Ağayev E.A. Aeroport ərazisində yükdaşıma vasitələrinin hərəkət intensivliyinin paylanması ... 7

## Mexanika və maşınqayırma

Canəhmədov Ə.X., Volçenko N.A., Cavadov M.Y., Volçenko D.A., Fidrovskaya N.N., Juravlev D.Yu., Aleynikova O.M., Skripnik V.S., Slepuzhnikov E.D. Əyləclərin metal friksion elementlərinin fırlanan sistemlərinin nanomayelərində çökmə və diffuziya (III hissə) ..... 14

İbrahimli E.N. İstilik mübadilə aparatlarının silisium-əmal örtüklü borularının möhkəmliyi .... 21

## Neft və qaz

Dadaşzadə M.Ə., Məmmədova G.G. İstismar quyusunun hasilatına skin-faktorunun göstərdiyi təsir ..... 26

Qurbanov Ə.N., Sərdarova İ.Z. Nəql zamanı kavitasiya texnologiyalarından istifadə perspektivləri ..... 32

Novruzova S.H., Qadaşova E.V., Əliyev İ.N. Dairəvi özlü-plastik neft yatağının çevrəvi istismar quyuları cərgələri ilə işlənməsinin nəzəri hidrodinamik məsələləri ..... 40

## Kimya və neft-kimya texnologiyaları

Cəfərov V.C., Mənəfov M.Ə., Alxanov P.Ş., Xəlilova S.M., Rəcəbova M.C. Polimer qarışıqların uyuşması şərtləri ..... 47

Qocayeva S.S., Nəzərov N.M., Babayev S.S., İsrailova Z.T., Seyidova S.T., Qriqoryeva N.M., Əhmədova C.C. Bəzi heterotsiklik azolidinlərin sintezi ..... 52

Hacıyev H.Q., Vəliyev N.A. Dizel-qələvi tullantısının suda məhlulunun kapilyar hopma prosesinə təsirinin tədqiqi ..... 60

## Energetika

Hüseynov E.N., Abbasov R.M., Hüseynov F.H. Subharmonik cərəyanlar metodu vasitəsilə generatorun stator dolağının mühafizəsinin qurulması ..... 70

Hümbətov R.T., Namazov M.B. Günəş panellərinin energetik göstəricilərinin artırılmasına yeni yanaşma ..... 77

Əhmədov R.Ə. Optimal radioqəbul üçün akustooptik vasitələr ..... 89

## İnformatika

Rzayev X.N., Bağirov E.Y., Məmmədov M.F. NIST 802STS paketi əsasında m-lik kodlar üzrə generatorların statistik təhlükəsizliyinin qiymətləndirilməsinin nəticələri ..... 96

## Ekologiya

Hüseynov Q.S., Məmmədov İ.A., Teymurzadə L.T. Lok-Qarabağ struktur-formasion zonasında olan kolçedan və kolçedan-polimetal yataqlarının filizlərdən qızılın ayrılması ..... 108

Süleymanov Q.S., İsmayılova H.Q. Mədən neftqaz kəmərlərinin istismarı zamanı ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi və idarə olunması ..... 119

15-ci cildin məzmunu (yanvar – dekabr 2023) ..... 129

## CONTENTS

### Aviation

- Agayev E.A.** Distribution of Traffic Intensity of Cargo Vehicles in Airport Area ..... 7

### Mechanical and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Volchenko D.A., Fidrovskaya N.N., Zhuravlev D.Yu., Aleynikova O.M., Skrypnyk V.S., Slepuzhnikov Ye.D.** Sedimentation and Diffusion in Nanofluids in Rotating Systems of Metal Friction Elements of Brake (Part III) ..... 14
- Ibrahimli E.N.** Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe ..... 21

### Oil and gas

- Dadashzade M.A., Mammadova G.G.** The Effect of Skin Factor on Well Production ..... 26
- Gurbanov A.N., Sardarova I.Z.** Prospects of Using the Cavitation Technologies in Transportation ..... 32
- Novruzova S.G., Gadashova E.V., Aliyev I.N.** Theoretical Hydrodynamic Problems of Developing Circular Field of Viscous-Plastic Oil with Circular Rows of Exploitation Wells ..... 40

### Chemistry and Chemical Technologies

- Jafarov V.J., Manafov M.A., Alkhanov P.S., Khalilova S.M., Rajabova M.C.** Humbness Conditions of Polymer Mixtures ..... 47
- Gojayeva S.S., Nazarov N.M., Babayev S.S., İsrailova Z.T., Seyidova S.T., Grigoryeva N.M., Akhmedova J.J.** Synthesis of Some Heterotic Cycle Azolidines ..... 52
- Hajiyev H.G., Valiyev N.A.** Investigation of the Effect of the Solution Diesel-Alkaline Waste in Water on the Process of Capillary Impregnation ..... 60

### Energy Industry

- Huseynov E.N., Abbasov R.M., Huseynov F.H.** The Protection of Generator Stator Windings by Means of Subharmonic Current Method ..... 70
- Humbatov R.T., Namazov M.B.** New Approach to Increase the Solar Panels Energy Parameters ..... 77
- Ahmadov R.A.** The Acousto-Optical Means for Optimal Radio Receiving ..... 89

### Information Technology

- Rzaev X.N., Baghirov E.Y., Mammadov M.F.** Results of Statistical Security Assessment of Generators Using M-Ary Codes Based on the NIST 802STS Package ..... 96

### Ecology

- Guseynov G.S., Mamedov I.A., Teymurzade L.T.** Extraction of Gold from Sulfide and Sulfide-Polymetallic Ores from the Lok-Garabagh Structural-Formational Zone of the Lesser Caucasus ..... 108
- Suleymanov G.S., Ismayilova H.G.** Assessment and Management of Environmental Risks during the Operation of Field Oil and Gas Pipelines ..... 119

- Contents of the 15th volume** (January – December 2023)..... 129

## СОДЕРЖАНИЕ

### Авиация

Агаев Э.А. Распределение интенсивности движения транспортных средств в районе аэропорта .....	7
---	---

### Механика и машиностроение

Джанахмедов А.Х., Вольченко Н.А., Джавадов М.Я., Вольченко Д.А., Фидровская Н.Н., Журавлев Д.Ю., Алейникова О.М., Скрышнык В.С., Слепужников Е.Д. Седиментация и диффузия в наножидкости во вращающихся системах металлических фрикционных элементов тормозов (ч. III) .....	14
Ибрагимли Э.Н. Прочность силикатно-эмалевого покрытия трубы теплообменного аппарата .....	21

### Нефть и газ

Дадашзаде М.А., Мамедова Г.Г. Влияние скин-фактора на дебит добывающей скважины .....	26
Гурбанов А.Н., Сардарова И.З. Перспективы использования кавитационных технологий при транспортировке .....	32
Новрузова С.Г., Гадашова Э.В., Алиев И.Н. Теоретические гидродинамические задачи разработки кругового месторождения вязкопластичной нефти с круговыми рядами эксплуатационных скважин .....	40

### Химия и нефтехимические технологии

Джафаров В.Д., Манафов М.М., Алханов П.Ш., Халилова С.М., Раджабова М.С. Условия совместимости полимерных смесей .....	47
Годжаева С.С., Назаров Н.М., Бабаев С.С., Исрафилова З.Т., Сеидова С.Т., Григорьева Н.М., Ахмедова Д.Д. Синтез некоторых азолидинов гетеротического цикла .....	52
Гаджиев Г.К., Велиев Н.А. Исследование влияния раствора дизельно-щелочного отхода в воде на процесс капиллярной пропитки .....	60

### Энергетика

Гусейнов Е.Н., Аббасов Р.М., Гусейнов Ф.Х. Защита обмоток статора генератора методом субгармонических токов .....	70
Гумбатов Р.Т., Намазов М.В. Новый подход к увеличению энергетических показателей солнечных панелей .....	77
Ахмедов Р.А. Акустооптические средства для оптимального радиоприема .....	89

### Информатика

Рзаев Х.Н., Багиров Е.Я., Маммадов М.Ф. Результаты оценки статистической безопасности генераторов на m-ичных кодах на основе пакета NIST 802STS .....	96
---	----

### Экология

Гусейнов Г.С., Мамедов И.А., Теймурзаде Л.Т. Извлечение золота из руд колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений Лок-Карабахской структурно-формационной зоны Малого Кавказа .....	108
Сулейманов Г.С., Исмайылова Х.Г. Оценка и управление экологическими рисками при эксплуатации промысловых нефтегазопроводов .....	119

Содержание 15 тома (январь – декабрь 2023) .....	129
--	-----

## **Distribution of Traffic Intensity of Cargo Vehicles in Airport Area**

**E.A. Agayev**

*National Aviation Academy of Azerbaijan (Mardakan ave, 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Agayev Elgun / e-mail: eaghayev@naa.edu.az

### **Abstract**

The article studies the impact of irregular vehicles movements on accidents at airports. It is established that the operational determination of the distribution of traffic intensity of vehicles directly affects the regularity and efficiency of flights. Factors affecting the intensity of the movement of freight vehicles are determined, and calculations are made for its effective distribution. The Poisson distribution is utilized to improve the efficiency of traffic intensity of cargo vehicles in the airport area. Based on the Poisson distribution, the potential intensity of vehicles during a specific time interval is calculated using the total number of cargo vehicles serving the airports. The results of these calculations are displayed graphically.

**Keywords:** cargo, vehicle, airport, distribution, intensity, time.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_07\_13

**Received** 30.03.2023

**Revised** 14.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Agayev E.A.*

[Distribution of Traffic Intensity of Cargo Vehicles in Airport Area]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 7-13 (in English)*

## **Aeroport ərazisində yükdaşıma vasitələrinin hərəkət intensivliyinin paylanması**

**E.A. Ağayev**

*Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Ağayev Elgün / e-mail: eaghayev@naa.edu.az

### **Xülasə**

Məqalədə hava limanlarının ərazisində nəqliyyat vasitələrinin nizamsız hərəkətlərinin qəzalara təsiri araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, nəqliyyat vasitələrinin hərəkət intensivliyinin paylanmasının operativ təyin edilməsi uçuşların müntəzəmliyinə və effektivliyinə birbaşa təsir edir. Yükdaşıma vasitələrinin hərəkət intensivliyinə təsir edən amillər müəyyən edilmiş və onun effektiv paylanması üçün hesablamalar aparılmışdır. Yükdaşıma vasitələrinin hava limanının ərazisində hərəkət intensivliyinin effektivliyini artırmaq üçün Puasson paylanmasından istifadə edilmişdir. Puasson paylanması əsasında hava limanlarında xidmət göstərən yükdaşıma vasitələrinin ümumi sayına əsasən müəyyən vaxt intervalında nəqliyyat vasitələrinin mümkün intensivliyi hesablanmışdır. Hesablamanın nəticəsi qrafiklə göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** yük, nəqliyyat vasitəsi, hava limanı, paylanma, intensivlik, vaxt.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_07\_13

---

УДК 629.73

## **Распределение интенсивности движения транспортных средств в районе аэропорта**

**Э.А. Агаев**

*Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардаканский пр., 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Агаев Эльгюн / e-mail: eaghayev@naa.edu.az

### **Аннотация**

В статье исследовано влияние нерегулярного движения транспортных средств на аварийность в аэропортах. Определено, что оперативное распределение интенсивности движения транспортных средств напрямую влияет на регулярность и эффективность полетов. Определены факторы, влияющие на интенсивность движения транспортных средств, и произведены расчеты их эффективного распределения. Распределение Пуассона использовалось для повышения эффективности интенсивности движения грузовых автомобилей в районе аэропорта. На основе распределения Пуассона рассчитывалась потенциальная интенсивность транспортных средств за конкретный интервал времени с использованием общего количества грузовых автомобилей, обслуживающих аэропорты. Результаты этих расчетов отображаются графически.

**Ключевые слова:** груз, транспортное средство, аэропорт, распределение, интенсивность, время.

## **Introduction**

Cargo vehicle accidents in aerodromes can result in significant damage to infrastructure, equipment, and cargo. These incidents can also result in harm to personnel and passengers, as well as disruption to air traffic operations. Some common causes of cargo vehicle accidents in aerodromes include driver error, equipment malfunction, and poor maintenance practices. To mitigate the risks associated with these incidents, aerodrome operators and aviation regulatory authorities have implemented a number of safety measures. These measures include mandatory training programs for cargo vehicle operators, regular maintenance and inspection of cargo handling equipment, and strict safety protocols for cargo handling operations. Additionally, some aerodromes have adopted advanced technologies for reduce the risk of accidents. Despite these efforts, cargo vehicle accidents continue to occur in aerodromes. To further reduce the risk of these incidents, it is recommended that aerodrome operators regularly review and update their safety protocols, conduct regular risk assessments, and invest in new technologies that can improve cargo handling safety. In the event of a cargo vehicle accident in an aerodrome, it is important for the operator to respond quickly and effectively to minimize the damage and impact. This may involve conducting an investigation to determine the cause of the accident, implementing corrective actions to prevent similar incidents from occurring in the future, and communicating with stakeholders, including the aviation authorities and insurance providers, to ensure a timely and effective resolution. Overall, the prevention of cargo vehicle accidents in aerodromes is a critical aspect of aviation safety and requires

the cooperation of all stakeholders, including aerodrome operators, aviation regulatory authorities, and cargo handling companies. Through the continued implementation of effective safety measures and the prompt resolution of incidents, the aviation industry can help to ensure the safe and efficient operation of aerodromes around the world.

There are following types of vehicles used in airports [1]:

1. Buses for the delivery of crew and passengers;
2. Aviation security vehicles;
3. Self-propelled snow cutter, water, catering service, tanker vehicles;
4. Vehicles for transportation of baggage and cargo to airplanes (from airplanes);
5. Public catering service vehicles.

One of the primary objectives in coordinating the interaction between aircraft and ground vehicles at airports is to ensure their safety and prevent collisions [2]. Such incidents between aircraft and ground vehicles can cause significant financial losses due to airport shut-downs, as was demonstrated by Nevak airport in the United States where a single hour of downtime costs a million US dollars. The occurrence of collisions on airport premises underscores the importance of this issue. For instance, on January 7, 2021, an A320 aircraft collided with ground transportation at Gdansk airport, causing damage to the aircraft's engine, leading to a prolonged repair process.

Ground vehicle accidents can be classified into three levels: Level 1 – Fatal accidents; Level 2 – Accidents resulting in personal injury; Level 3 – Accidents resulting in damage to the vehicle.

Accidents at airports involving air and ground vehicles as classified by the

International Civil Aviation Organization (ICAO) and the International Air Transport Association (IATA) fall into the following categories: Ground Safety (GS), Operational Damage (OD), and Runway Safety (RS) [3].

In 2015-2021, the accidents that occurred due to the movement of ground vehicles on the territory of the airport are shown in the table 1.

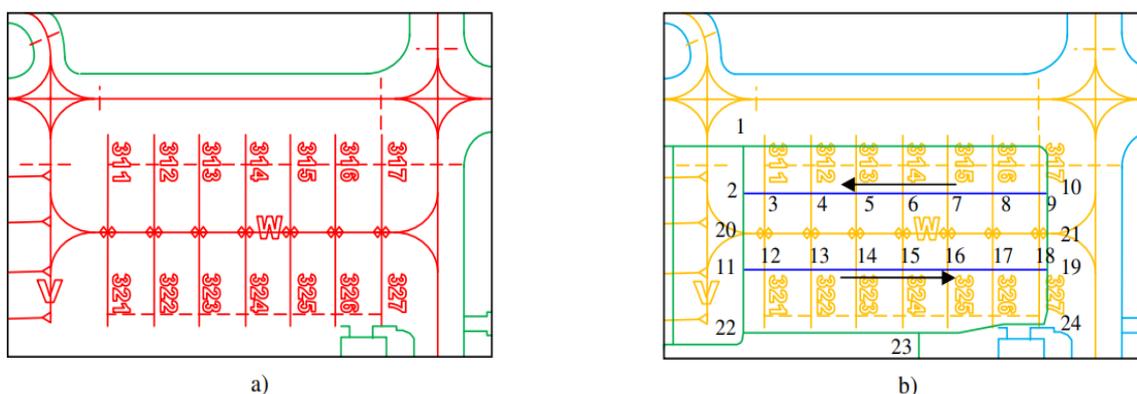
The increase in the intensity of flights at airports leads to an increase in the number of vehicles for transporting luggage and cargo.

From this point of view, the correct assessment of the distribution of traffic intensity of cargo vehicles in the territory of the airport has a direct impact on the reduction of the number of accidents and on the regular performance of operations [4].

In order to determine the intensity of freight vehicles at airports, it is crucial to accurately determine their movement directions. The direction of movement of ground vehicles in the airport area is shown below [5, 6].

**Table 1** – Accidents that occurred due to the movement of ground vehicles

Aircraft type	Ground vehicle type	Year	Airport	Vehicle damage
Airbus A320	Water transport vehicle	2021	Gdansk airport (Poland)	The plane and the tanker were damaged
Airbus A321	Fuel tanker	2020	Sheremetyevo airport (Moscow, Russia)	The plane and the tanker were damaged
Airbus A320	Pushback tractor	2017	Dublin Airport (Sweden)	The right engine of the aircraft was damaged
Airbus A320	Aviation security vehicles	2017	Alicante airport (Spain)	The right engine of the aircraft was damaged.
Boeing 767	Pushback tractor	2017	Bangkok Airport (Thailand)	The right engine of the aircraft was damaged
Airbus A330	Catering service vehicles	2016	Hong Kong airport (China)	The left engine of the aircraft was damaged.
Airbus A320	Aviation security vehicles	2015	King Abdulaziz International Airport (Jeddah, Saudi Arabia)	The right engine of the aircraft was damaged



**Figure 1** – Modelled fragment of the Aerodrome Ground Movement Chart (ICAO)

Figure 1a demonstrates the location of taxiways on which aircraft move between the runway and ramp area (stands), with numbers 311 to 317 and 321 to 327. Figure 1b illustrates the further path of movement of ground vehicles within the confines of the airfield.

On track sections 10 to 2 and 11 to 19, only one-way traffic is allowed and on the remaining sectors, two-way traffic is allowed. At points 3 to 9, 12 to 18, 20, and 21, the path of movement of ground vehicles intersects with taxiways carrying moving aircraft.

Points 1, 2, 10, 11, 19, 22, 23, and 24 are three-way crossroads where ground vehicles intersect. Both aircraft (AC) and ground vehicles (GV) operate in the airport area.

The direction of movement of ground vehicles in the airport area is typically controlled by designated roads and taxiways. The vehicles move along these roads and taxiways in a specific direction, following the markings and signs that are in place to ensure the safe and efficient movement of aircraft and ground vehicles. In general, there are two main types of roads in the airport area: runways and taxiways.

Runways are used by aircraft for takeoff and landing, while taxiways are used by ground vehicles to move aircraft between the runway and the ramp (the area where aircraft are parked and serviced).

Ground vehicles, such as baggage carts, fuel trucks, and ground support equipment, are required to follow the signs and markings that indicate the designated direction of movement on taxiways and other roadways. These markings include painted arrows and signs with instructions for the vehicles.

## Calculation of the intensity of movement of freight vehicles

The following factors impact the movement intensity of freight vehicles: Quantity of loads in loading warehouses; Quantity of loads on the aircraft; Distance traveled by the vehicle; Vehicle velocity; Quantity of aircraft; Timing of cargo unloading from the aircraft. In order to quantify the traffic intensity in the airport area, it is necessary to determine the number of freight vehicles that pass through point 11 or 10 in a specified time interval (15 minutes, 30 minutes, 1 hour) as depicted in Fig. 2.

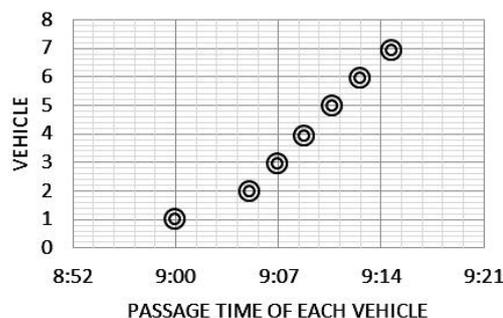


Figure 2 – Corresponding graphic

The quantity of vehicles passing the reference point at different times is presented in Table 2 and its corresponding graphic can be found in Figure 2. For the effective and efficient determination of movement intensity, processing and analysis of information from various sources in the time plane are of practical importance. In this regard, the characteristics of the acousto-optical effect can be used [7].

Vehicle intensity in an aerodrome refers to the level of ground vehicle traffic, such as aircrafts, tugs, baggage carts, and fuel trucks, that operate on the airport's taxiways, runways, and aprons. It is often expressed in terms of the number of ground movements, such as takeoffs and landings, per unit of time, such as aircraft movements per hour.

**Table 2** – The quantity of vehicles passing the reference point

Vehicle	Passage time of each vehicle
1	9:00
2	9:05
3	9:07
4	9:09
5	9:11
6	9:13
7	9:15

High vehicle intensity in an aerodrome can lead to increased air traffic congestion and safety concerns, while low vehicle intensity suggests less utilization of the airport. Vehicle intensity is an important factor that must be considered in the planning and management of airport operations, as well as in the design of airport ground facilities and infrastructure. In order to determine the traffic intensity, it is necessary to tally the quantity of vehicles (or pedestrians) traversing a specified location over a well-defined period, such as an hour or a day. The resulting traffic intensity is expressed as the number of vehicles (or pedestrians) per unit of time. For example, if 1000 vehicles pass through a specific point in one hour, the traffic intensity is 1000 vehicles per hour. Here's the general formula to calculate traffic intensity:

$$\text{intensity (flow)} = \frac{\text{number of vehicles}}{\text{time}}$$

As demonstrated by the table, seven vehicles traversed the reference point within a 15-minute interval. Subsequently, we proceed to calculate the intensity of movement as follows:

$$\begin{aligned} \text{intensity}^1 (\text{flow}) &= \frac{7 \text{ veh}}{15 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = \\ &= 28 \text{ veh/hr} \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Note: The accuracy of the traffic intensity calculation will depend on the method used to count the number of vehicles (or pedestrians) and the duration of the time interval.

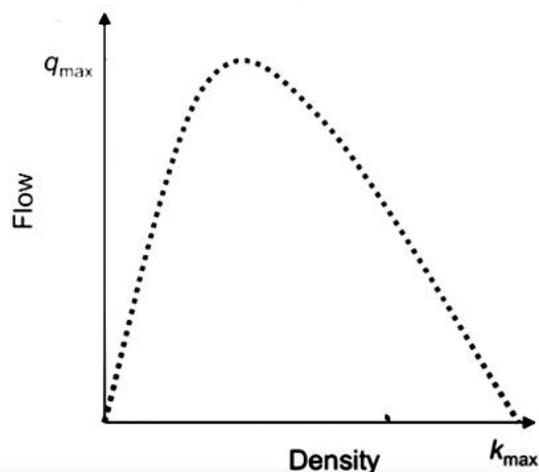
If we represent the quantity of vehicles as 'n' and the duration of movement as 't', we obtain the following mathematical expression for the traffic intensity:

$$q = \frac{n}{t} \quad (1)$$

As we know, vehicle speed is defined as  $\vartheta = d/t$  and traffic density is defined as  $k = n/d$ . Here, d-plane-destination distance, k (density) is the density of motion. Then

$$q = k \times \vartheta \quad (2)$$

The graph illustrating the dependence between the intensity (flow) and density of movement is shown in Figure 3.



**Figure 3** – Dependence between the intensity (flow) and density

A traffic intensity-density graph is a graph that displays the relationship between traffic intensity and traffic density. Traffic intensity refers to the average number of vehicles passing through a particular point on a road network over a specific time period, while traffic density refers to the number of vehicles per unit of road length at a particular point in time.

Typically, the x-axis of the graph represents traffic density, and the y-axis represents traffic intensity. As the traffic density increases, the traffic intensity also increases, reaching a peak and then decreasing

as the density becomes too high and traffic congestion occurs. The shape of the graph can vary, but it typically resembles a bell curve, with the highest traffic intensity occurring at a moderate density and declining at very high and very low densities.

We use the Poisson distribution to determine the intensity of freight vehicles in the airport area:

$$P(n) = \frac{(\gamma t)^n \times e^{-\gamma t}}{n!} \quad (3)$$

$P(n)$  – probability of having  $n$  vehicles arrive in time  $t$ ,  $t$ -duration of the time interval over which vehicles are counted,  $\gamma$  - average vehicle intensity(flow) or arrival rate in vehicles rate per unit time,  $e$  – base of the natural logarithm ( $e=2.718$ ).

Example: 20 cargo vehicles serve the airport area within 1 hour. Let's find the probability of movement of 1,2,3,4 or more cargo vehicles within 60 seconds after the plane lands. Solution:  $\gamma=20\text{veh/h}=0.005 \text{ veh/s}$ .

$t= 60\text{s}$ ;  $P(1)=0.2223$ ;  $P(2)= 0.0333$ ;

$P(3)= 0.0033$ ;  $P(4)=0.00025$ .

For four or more vehicles

$$P(n \geq 4) = 1 - P(n < 4) = 1 - 0.7408 - 0.2223 - 0.0333 - 0.0033 - 0.00025 = 0.00005$$

We can plot the Poisson distribution according to the calculation as follows (fig.4):

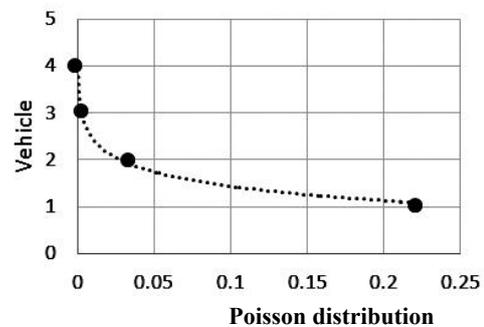


Figure 4 – Poisson distribution

## Conclusion

As it can be seen, in modern times, the improper control of the movement of vehicles in the airport area causes accidents. It is possible to prevent accidents by pre-determining the distribution of traffic intensity of freight vehicles.

## Conflict of Interests

The author declares there is no conflict of interest related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. **Iyad Alomar et al.** Optimization of ground vehicles movement on the aerodrome. *Transportation Research Procedia* 24 (2017) 58–64 (in English)
2. **Alexey V. Shvetsov.** Analysis of Accidents Resulting from the Interaction of Air and Ground Vehicles at Airports (in Russian)
3. ICAO Safety Report, 2020. ICAO (in English)  
[https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_SR\\_2020\\_final\\_web.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2020_final_web.pdf) (accessed 15 July 2021).
4. **İsmayilov İ.M., Binnətəliyeva T.V.** Uçuş aparatlarının bort sistemlərində uçuş verilənlərinin intellektual analizi //Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı: 2021. Cild 13, №1. s.7-13 (in Azerbaijani)
5. **Iyad Alomar, Jurij Tolujevs, Aleksandrs Medvedevs.** Simulation of Ground Vehicles Movement on the Aerodrome //Procedia Engineering 178 (2017) 340 – 348 (in English)
6. ICAO. Aerodrome design manual. 2005, 156 p. (in English)
7. **Hasanov A.R, Hasanov R.A, Ahmadov R.A., Sadikhov M.V.** Approximation Method for Investigating Acousto-Optic Delay Line Characteristics// Radioelectronics and Communications Systems 64. (2021) Pp. 604–611 (in English)

## **Sedimentation and Diffusion in Nanofluids in Rotating Systems of Metal Friction Elements of Brake (*Part III*)**

**A.Kh. Janahmadov<sup>1,3</sup>, N.A. Volchenko<sup>2</sup>, M.Y. Javadov<sup>3</sup>, D.A. Volchenko<sup>4</sup>,  
N.N. Fidrovskaya<sup>5</sup>, D.Yu. Zhuravlev<sup>4</sup>, O.M. Aleynikova<sup>5</sup>, V.S. Skrypnyk<sup>4</sup>,  
Ye.D. Slepuzhnikov<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> *Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave, 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

<sup>2</sup> *Kuban State Technological University (International Activities Support Department, Room A-523, Moskovskaya st., 2, Bld. A, Krasnodar, 350072, Russia)*

<sup>3</sup> *Azerbaijan Engineering Academy (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

<sup>4</sup> *Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Karpatska ave.15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine)*

<sup>5</sup> *Kharkov National Automobile and Road University (Kharkov, Ukraine)*

<sup>6</sup> *Kharkov National University of Civil Defense of Ukraine (Kharkov, Ukraine)*

### **For correspondence:**

Zhuravlev Dmitriy / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

### **Abstract**

To assess sedimentation, the gradient theory is applied to pressure, velocity, partial and specific volume, mass, and molar concentration, as well as the determination of the sedimentation coefficient. The diffusion of nanoparticles is characterized by the coefficient and its mobility in the liquid. Selection by molecular weight of various materials of nanoparticles is made. The results of experimental studies on a model band-shoe brake are presented, and the cooling efficiency is established.

**Keywords:** band-shoe brake, friction pairs, brake pulley rim, nanoparticles, liquid, diffusion-sedimentation processes, molecular weight.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_14\_20

**Received** 14.01.2023

**Revised** 14.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Volchenko D.A., Fidrovskaya N.N., Zhuravlev D.Yu., Aleynikova O.M., Skrypnyk V.S., Slepuzhnikov Ye.D.*

[Sedimentation and Diffusion in Nanofluids in Rotating Systems of Metallic Friction Elements of Brake (*Part III*)]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 14-20 (in English)*

## Əyləclərin metal friksion elementlərinin fırlanan sistemlərinin nanomayelərində çökmə və diffuziya (III hissə)

Ə.X. Canəhmədov<sup>1,3</sup>, N.A. Volçenko<sup>2</sup>, M.Y. Cavadov<sup>3</sup>, D.A. Volçenko<sup>4</sup>,  
N.N. Fidrovskaya<sup>5</sup>, D.Yu. Juravlev<sup>4</sup>, O.M. Aleynikova<sup>5</sup>, V.S. Skripnik<sup>4</sup>,  
E.D. Slepuzhnikov<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

<sup>2</sup> Kuban Dövlət Texnologiya Universiteti (Moskovskaya küç. 2, Krasnodar, 350072, Rusiya)

<sup>3</sup> Azərbaycan Mühəndislik Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

<sup>4</sup> İvano-Frankivsk Milli Texniki Neft və Qaz Universiteti (Karpatska küç.15, İvano-Frankivsk, 76019, Ukrayna)

<sup>5</sup> Xarkov Milli Avtomobil-Yol Universiteti (Xarkov, Ukrayna)

<sup>6</sup> Ukraynanın Xarkov Milli Mülki Müdafiə Universiteti (Xarkov, Ukrayna)

**Yazıma üçün:** Juravlev Dmitriy / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

### Xülasə

Məqalədə, çöküntünün qiymətləndirilməsi üçün qradiyent nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə təzyiç, sürət, qismən və xüsusi həcm, kütlə və molyar konsentrasiya, həmçinin çökmə əmsalı təyin edilib. Nanohissəciklərin diffuziyası onun mayədə hərəkətliyi və əmsalı ilə xarakterizə olunur. Nanohissəciklərin müxtəlif materiallarından molekulyar çəkiyə görə seçimlər aparılmışdır. Lentli-kündəli əyləc modeli üzərində eksperimental tədqiqatların nəticələri təqdim olunub və soyutmanın səmərəliliyi müəyyən edilib.

**Açar sözlər:** lentli-kündəli əyləc, sürtünmə cütü, əyləc qasnağının dəndənəsi, nanohissəciklər, maye, diffuziya-çökmə prosesi, molekulyar çəki.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_14\_20

УДК 62.92.113; 621.2.082.18

## Седиментация и диффузия в наножидкости во вращающихся системах металлических фрикционных элементов тормозов (часть III)

А.Х. Джанахмедов<sup>1,3</sup>, Н.А. Вольченко<sup>2</sup>, М.Я. Джавадов<sup>3</sup>, Д.А. Вольченко<sup>4</sup>,  
Н.Н. Фидровская<sup>5</sup>, Д.Ю. Журавлев<sup>4</sup>, О.М. Алейникова<sup>5</sup>, В.С. Скрыпник<sup>4</sup>,  
Е.Д. Слепужников<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1010, Азербайджан)

<sup>2</sup> Кубанский государственный технологический университет (ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия)

<sup>3</sup> Азербайджанская Инженерная академия (Мардакянский пр. 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

<sup>4</sup> Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск, 76019, Украина)

<sup>5</sup> Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (г. Харьков, Украина)

<sup>6</sup> Харьковский национальный университет гражданской защиты Украины (г. Харьков, Украина).

**Для переписки:** Журавлев Дмитрий / e-mail: dmytro.2103@ukr.net

### Аннотация

Для оценки седиментации в статье применялась градиентная теория к давлению, скорости, парциальному и удельному объему, массовой и мольной концентрации. Дано определение коэффициента седиментации. Диффузия наночастиц характеризовалась коэффициентом и ее подвижностью в жидкости. Произведен подбор по молекулярному весу из различных материалов наночастиц. Приведены результаты экспериментальных исследований на модельном ленточно-колодочном тормозе и установлена эффективность охлаждения.

**Ключевые слова:** ленточно-колодочный тормоз, пары трения, обод тормозного шкива, наночастицы, жидкость, диффузионно-седиментационные процессы, молекулярный вес.

## Introduction

Diffusion characterizes the movement of nanoparticles together with liquid in the brake pulley rim chamber.

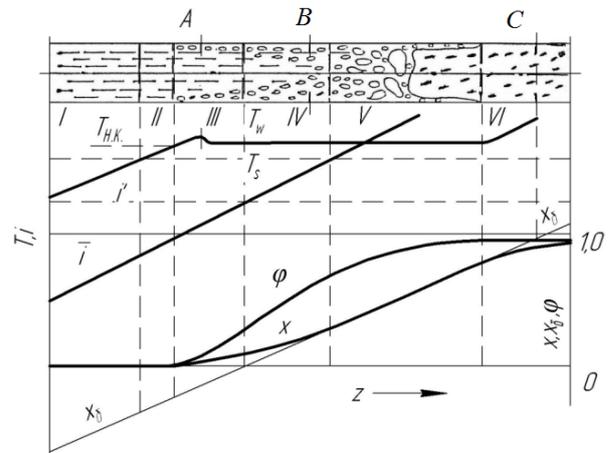
Sedimentation characterizes the movement of nanoparticles along with fluid in the brake pulley rim chamber. Sedimentation characterizes the movement of nanoparticles in the direction of their settling to the bottom of the chamber at a given time. In this case, thermal and dynamic forces act on nanoparticles in a liquid.

**The analysis of literary sources and the state of the problem** are disclosed in the first part of the article. The main questions of the article: the processes occurring in the brake pulley rim chamber; experimental studies; the discussion of the results.

**The purpose of the work** is to substantiate the performance of nanoparticles in capillary structures and in liquid in rotating brake systems.

## Processes occurring in the brake pulley rim chamber

If a nanofluid enters the inner surface of the wall of the lower part of the rim of a rotating pulley, which is subcooled to the saturation temperature  $T_s$ , then along its length it is possible to distinguish, then along its length it is possible to distinguish the following characteristic regions [1]. On fig. 1 shows an arrow  $\rightarrow$  next to  $z$ , indicating that the folded pulley rim must be viewed from the pinched end of the pulley and towards the free end. Region I (Fig. 1) is the region of single-phase convective heat transfer, inside which, in turn, it is possible to single out areas of thermal and hydrodynamic stabilization.



**Figure 1** – Modes of motion and change of nanofluid and vapor parameters along the length of the inner wall of the pulley rim

The calculation of the nanofluid flow parameters in this area is carried out in accordance with the recommendations of known methods. At the end of region I, the temperature of the inner wall of the pulley rim reaches the value  $T_s$ , (which corresponds to the enthalpy of nanofluids on the saturation line  $i'$ ).

Region II covers the section of the inner surface of the pulley rim from the section, where the wall temperature  $T_w$  reached  $T_s$ , up to the section where the beginning of boiling was fixed by one method or another, that is, the actual nanovapor content in the flow became different from zero. The wall temperature at the end of region II is equal to the initial boiling point  $T_{b. b.}$  and wherein  $T_w = T_{b. b.}$ , and the mass-average enthalpy of the flow I remains less than the enthalpy of saturation  $i'$ , that is, the nanofluid, on average, as before, is undercooled to  $T_s$ . The flow parameters in region II can be calculated with sufficient accuracy (as in region I) using the formulas for single-phase heat transfer. Obviously, in regions I and II, the relative enthalpy  $x_b < 0$ .

Region III is located between the section of the beginning of boiling and the section where the mass-average enthalpy of the flow becomes equal to the enthalpy of saturation, i.e.  $x_b = 0$ . In region III, the flow is substantially unbalanced: the relative flow enthalpy  $x_b$  remains negative, while the mass nanovapor content  $x$  and the corresponding real volumetric nanovapor content  $\varphi = V''/V_{mix}$ , where  $V''$  – nanopair volume;  $V_{mix}$  – the volume of the nanovapor-liquid mixture is different from zero and the presence of the nanovapor phase in the flow is determined experimentally. Inside this region, a section is sometimes distinguished (section A - Fig. 1), corresponding to the onset of intense nanovapor formation, after which the intensity of heat transfer noticeably increases, the hydraulic resistance increases, and the wall temperature either remains constant or even decreases. The boundary of regions III and IV does not reflect any physical changes that occur with the nanoflow.

Region IV begins in section  $x_b = 0$  and ends with a section characterized by the fact that the average temperature of the nanofluid becomes equal to  $T_s$ , after which the flow becomes almost thermally balanced. Inside the area IV allocate section B, in which the near-wall two-phase layers converge. In this case, however, for the entire region IV, despite the fact that the mass-average enthalpy becomes greater than the enthalpy of saturation  $i'$  ( $x_b > 0$ ). The flow remains unbalanced: the saturated nanovapor moves with the subcooled liquid. In region IV, the mode of motion of the mixture is, as a rule, bubbly.

Areas V – VI are areas of balanced flow of the mixture, starting from the section where the average temperature of the nanofluid is equal to  $T_s$ , and ends with a section where a

new imbalance sets in: an overheated nanovapor and nanofluid move in the flow at saturation temperature. In this region, there is a successive change in flow regimes - from bubbly further to dispersed-annular. Values  $x$  and  $x_b$  in area V match up.

Region VI is the region of mixture movement, where the flow is usually unbalanced (nanofluid droplets in superheated steam), and this unbalance can be significant - large superheats of steam relative to  $T_s$ . At very high values of the heat flux on the wall, the so-called double imbalance is possible: an undercooled nanofluid in an overheated steam. Within area VI there can be a section B, wherein  $x_b = 1$ , although the actual value  $x < 1$  [2]. In practical cases, obviously, the set of regions along the length of the wall is far from necessarily complete, and the length of these regions depends on the parameters of the nanoflow and the heat flux density, which depend on the deceleration mode.

The calculation of two-phase flow parameters, especially in regions III, IV, VI, is characterized by significant imbalance, is very complex and is currently carried out according to empirical or semi-empirical methods.

### Experimental studies

The heat transfer coefficient in the nanocapillary structure system can be increased by varying the particle size, i.e., their area of interaction with the liquid or by its transformation into vapor. At the same time, an increase in the particle size contributes to a decrease in the heat transfer coefficients.

In addition, during heat transfer in systems with a nanocapillary structure, the main influence is exerted by the volume

concentration of nanoparticles in briquettes and their thermal conductivity coefficient.

The liquid in the cooling chamber in a rotating pulley comes into motion under the action of centrifugal and gravitational forces, as well as volumetric and surface forces [3-5].

The penultimate ones arise as a result of the fluid density gradient. The latter arise as a result of the liquid density gradient and are caused by a local change in the surface tension of the liquid, which is mainly associated with the occurrence of an uneven distribution of the bulk temperature or the concentration of nanoparticles in the briquettes on the inner surface of the pulley rim, which is, as a rule, a consequence of a change in their thermodynamic state in volume of liquid in briquettes with nanoparticles.

Conductive-capillary convection contains several new hydrodynamic effects due to the concentration inhomogeneity of nanoheat carriers near the surfaces of the pulley rim and the cooling chamber. This contributes to the appearance of bubbles and drops near microroughnesses of their surfaces.

The structure of fluid movement in the cavity of the cooling chamber depends on its shape, as well as on the location of the heated pulley rim in space. In this case, the surface forces prevail over the bulk forces arising in briquettes with nanoparticles. Such a condition is characteristic of thin horizontal layers and films of a liquid, near the surface of drops and air bubbles in a liquid. Two main factors must be taken into account. The first factor is that the characteristic time of heat diffusion is hundreds and even thousands of times shorter than the time of existence of concentration inhomogeneities. As a result, the latter exist in liquids much longer than thermal ones, and their duration and intensity of action of

capillary forces at the phase boundary increases many times. This contributes to the intensification of heat removal from nanoparticles in briquettes to the liquid washing them. The second factor is the adsorption of liquid on the surfaces of nanoparticles in briquettes, which contributes to the concentration-capillary drift of air bubbles. The action of Marangoni forces on the free surface of a liquid causes it to move in the direction of increasing surface tension. The surface drags the layers of fluid adjacent to it. As a result, if the free surface belongs to a bubble, then it begins to be displaced in the direction opposite to the liquid flow in the capillaries of the briquette nanoparticles. This ability of air bubbles to spontaneously move in a liquid in the direction of decreasing surface tension causes their capillary drift.

In order to control the heat fluxes generated on the working surfaces of friction pairs of drawworks band-shoe brakes, it is necessary to have reliable data on the thermal conductivity coefficients that are in sintered form, forming capillary structures that are limited by a metal frame, i.e., they are a briquette. In table 1, nanoparticles were selected for the inner surface of the pulley rim. In this case, the number of nanoparticles was determined in the cross-sectional area of the briquette. Based on the table 1 we write a relation of the form

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{A_1}{A_2}; \quad (1)$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_3} = \frac{A_2}{A_3}; \quad (2)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_3} = \frac{A_1}{A_3}; \quad (3)$$

**Table 1** – Selection of nanoparticle materials for sector briquettes according to thermal conductivity coefficients and their cross-sectional area

Options for selecting nanoparticles	Coefficient of thermal conductivity $\lambda$ , W/(m·°C): I – Al; II – Cu; III – SiC	Number of segment briquettes		
		I	II	III
Relations between thermal conductivity coefficients, $\lambda$ , W/(m·°C)				
I – II		II - III		I - III
$\lambda_1/\lambda_2 = 1,7$		$\lambda_2/\lambda_3 = 2,0$		$\lambda_1/\lambda_3 = 3,3$
Relations between the cross-sectional areas of briquettes, cm <sup>2</sup>				
$A_1/A_2 = 1,9$		$A_2/A_3 = 2,1$		$A_1/A_3 = 3,5...4,1$

**Table 2** – Experimental data on the energy load of the serial pulley rim (in the numerator) and with its nanocapillary liquid cooling

Number of segment briquettes		I	II	III
Specific loads, MPa		$\frac{0,75^*}{0,7}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{0,95}{0,8}$
Temperatures, °C	Forces:	$\frac{320,0^*}{300,0}$	$\frac{340,0}{320,0}$	$\frac{360,0}{340,0}$
	superficial			
	voluminous	$\frac{100,0^*}{20,0}$	$\frac{110,0^*}{85,0}$	$\frac{120,0^*}{90,0}$

\*Note: the patterns of changes in the parameters of energy loading obey a linear law (from the pinched edge of the rim to the free one, III - I)

The discrepancy between the values in relation (1) is 13.0%, in (2) only 5.0% and in (3) 6.0%, and averages 8.0%. This indicates that the materials for nanoparticles in briquettes are chosen correctly. This is evidenced by the ratios for nanoparticles from powder for: aluminum (Al) -  $\frac{0,748}{0,9}$ ; меди (Cu)  $\frac{0,8}{0,95}$ ; карбида кремния (SiC) -  $\frac{0,63}{0,7}$  thermal conductivity coefficients, W/(m·°C) [in the numerator there are nanoparticles in the liquid, and in the denominator in the sector briquettes washed by the liquid].

Experimental studies of friction pairs "steel 35KhNL - FK-24A" of a model band-shoe brake, the pulley rim of which was equipped with a liquid chamber with a volume

of 200 dm<sup>3</sup>). The weight of each type of briquette was: I - 80 g; II - 50 g; III - 25 g. At the same time, the weight of the sheet copper frame was: I - 55,4 g; II – 28,7 g; III – 13,4 g. While the weight of the perforated frame was twice as light. In table 2 shows the results of experimental studies.

Theoretical and experimental studies of non-uniform nanocapillary and nanofluid cooling. An analysis of uneven forced cooling by local heat exchangers (sector briquettes) of the brake pulley rim made it possible to establish the following: increase in thermal conductivity coefficients  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , respectively, from 0,748; 0,8 and 0,63 W/(m·°C) up to 0,9; 0,95 and 0,7, W/(m·°C), i.e. by 60,0%; a change in the parameters of the nanofluid in sector briquettes was achieved

at a heat flux density  $q = 2 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$ , an average bulk temperature to  $= 85 \text{ }^\circ\text{C}$  of the pulley rim at an average linear speed of 2,0 to 6,0 m/s of its rotation; - while the heat transfer coefficient was  $100 \dots 350 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  from the polished inner surface of the pulley rim, the heat transfer coefficient was  $75 \dots 300 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  through the multilayer structure [6, 7]; comparison of operational parameters during cooling of the pulley rim with liquid and with the help of sector briquettes with nanoparticles washed by liquid, made it possible to stabilize the values of specific loads in friction pairs, surface and volume temperatures of the rim pulley, as well as by reducing their fluctuations, the efficiency of the system was 25%. The discussion of the results. Theoretical and experimental studies of non-uniform nanocapillary and nanofluid cooling of friction pairs of a model tape-shoe brake of a drawworks made it possible to state the following: nanoparticles due to their thermal conductivity change the mode of motion and thermodynamic parameters of

nanofluid and vapor along the length of the inner wall of the pulley rim; experimental studies of the forced local cooling system showed that in briquettes with nanoparticles from various materials and capillary structures realized in them, an increase in the thermal conductivity coefficient by an average of 60% was achieved; for a given brake loading mode, fluctuations in specific loads across the width of its rim amounted to 0,7-0,8 MPa, approximately 35% less on average than in a serial water-cooled rim.

### Conclusion

Nanofluidic and nanocapillary forced cooling will allow the friction pairs of a band-shoe brake to operate in the temperature range below that acceptable for friction lining materials.

### Conflict of Interests

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

### REFERENCES

1. Tribology: friction, wear, lubrication / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, K.T. Nabizade [et al.]. - Baku: *Apostrophe-A*, 2019. 640 p. (*in English*)
2. **Liu D., Bai B., Fang H., Zhang W., Gu J., Chang K.** Effect of temperature and carbide free bainite on the mechanical characteristics of a high strength alloy steel // *Materials Science and Engineering. A*. 2004. V. 371. Pp. 40 – 44. (*in English*)
3. **Smirnov L.I.** Diffusion and patterns of behavior of the hydrogen subsystem in the systems "metal - hydrogen": author. diss. doc. tech. Sciences: 01.04.07 / Smirnov Leonid Ivanovich. M., 2003. - 396 p. (*in English*)
4. **Smirnov L.I.** Diffusion of hydrogen in metals at arbitrary concentration gradients // *Intern. J. Hydrogen Energy*. - 1999. Vol. 24, no. 6. - Pp. 813 - 817. (*in English*)
5. **Matusiewiyz G., Birnbaum H.K.** Hydrogen diffusion in Nb – Ta alloys // *Met. Trans.* - 1982. - Vol. 13, no. 10. – P.1615 – 1618. (*in English*)
6. **Janahmadov A.Kh., Volchenko D.A., Javadov M.Ya. [et al.]** Disk and disk-shoe brakes in mechanical engineering. Baku: *Apostrophe-A*, Volume 3, 2022. - 304 p. (*in English*)
7. **Yudin V.M.** Tribochemistry of hydrogen wear / V.M. Yudin, E.A. Lukashev, M.E. Stavrovsky. - M.: *MGUPS*, 2004. - 282 p. (*in English*)

## **Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe**

**E.N. İbrahimli**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

İbragimov Nazim / e-mail: nazim.ibragimov.2015@mail.ru

### **Abstract**

The examination of the stress state and strength of the silicate-enamel coating of the heat exchanger tube are presented. Formulas are obtained for determining the longitudinal, radial and tangential stresses arising in the sections of the pipe coating. The condition for the strength of the silicate-enamel coating of the pipe under conditions of high temperatures and pressures is presented. The study of the stress state of the silicate-enamel coating of the pipe makes it possible to determine the condition of the strength of the coating of the heat-exchange pipe under the influence of high temperatures and pressures. Analysis of the calculation results shows that the strength of the silicate-enamel coating mainly depends on the geometric dimensions and physical and mechanical characteristics of the heat-exchange tube coating. The obtained calculations make it possible to determine the condition for the destruction of the silicate-enamel coating of the heat exchange tube of the apparatus.

**Keywords:** longitudinal, radial and tangential stresses of the coating, deformation, ultimate strength, high temperature and pressure, destruction of the silicate-enamel coating, heat exchanger.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_21\_25

**Received** 13.10.2020

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*İbrahimli E.N.*

[Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 21-25 (in Russian)*

## **İstilik mübadilə aparatlarının silisium-əmal örtüklü borularının möhkəmliyi**

**E.N. İbrahimli**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Ibrahimov Nazim / e-mail: nazim.ibragimov.2015@mail.ru

### **Xülasə**

İstilik mübadilə aparatlarının silisium-əmal örtüklü borularının gərginlik və möhkəmliyinə baxılmışdır. Məqələdə istilik mübadilə aparatlarının silisium-əmal örtüklərində yaranan radial, tangensial və ox boyu istiqamətlərində gərginliklərin təyini üçün ifadələr təqdim edilmişdir. Eyni zamanda yaranan deformasiyaları nəzərə alaraq möhkəmlik şərtləri əsasında silisium-əmal öyrüyün hesabı verilmişdir. Aparılan tədqiqatlar istilik mübadilə aparatlarının yüksək temperatur və təzyiqlərdə işlənməsi də nəzərə alınmışdır. Aparılan hesablamaların təhlili göstərir ki, silisium-əmal örtüklü boruların möhkəmliyi əsasən boruların həndəsi ölçülərindən və onların fiziki mexaniki xassələrindən tam asılıdır. Alınan hesablamalar istilik mübadilə borularının dağılma həddinin təyin edilməsinə zəmin yaradır.

**Açar sözlər:** öyrüyün radial, ox boyu və tangensial gərginlikləri, deformasiyalar, möhkəmlik həddi, yüksək temperaturalar və təzyiqlər, istilik mübadilə aparatının silisium-əmal örtüklü borularının dağılması.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_21\_25

УДК 621.03.622.08

## **Прочность силикатно-эмалевого покрытия трубы теплообменного аппарата**

**Э.Н. Ибрагимли**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

**Для переписки:** Ибрагимов Назим / e-mail: nazim.ibragimov.2015@mail.ru

### **Аннотация**

Приведены исследования напряжённого состояния и прочности силикатно-эмалевого покрытия трубы теплообменного аппарата. Получены формулы для определения продольных, радиальных и тангенциальных напряжений, возникающих в сечениях покрытия трубы. Представлено условие прочности силикатно-эмалевого покрытия трубы в условиях высоких температур и давлений. Исследование напряжённого состояния силикатно-эмалевого покрытия трубы даёт возможность определить условие прочности покрытия теплообменной трубы под действием высоких температур и давлений. Анализ результатов расчёта показывает, что прочность силикатно-эмалевого покрытия в основном зависит от геометрических размеров и физико-механических характеристик покрытия теплообменной трубы. Полученные расчёты позволяют определить условие разрушения силикатно-эмалевого покрытия теплообменной трубы аппарата.

**Ключевые слова:** продольные, радиальные и тангенциальные напряжения покрытия, деформация, предел прочности, высокая температура и давление, разрушения силикатно-эмалевого покрытия, теплообменный аппарат.

## **Введение**

В условиях дефицита пресной воды в регионах Каспийского моря (Азербайджан, Туркменистан, Казахстан, Россия, Дагестан и т.д.) морская вода является охлаждаемой средой для работы как нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), так и тепловых электрических станций (ТЭС). В большинстве случаев в этих регионах отложения накипи и продуктов коррозии наиболее интенсивно протекают со стороны внутренней поверхности малого диаметра и малой толщины трубного пучка аппарата, эксплуатируемого в широком диапазоне температур, давления и скоростей потока теплоносителей, в результате чего ухудшается коэффициент теплопередачи. Уменьшается живое сечение труб и тем самым снижается тепловая эффективность. В этих условиях длительной эксплуатации поверхностных теплообменных аппаратов установлено, что тепловая эффективность в большей мере зависит от солевых отложений и продуктов коррозии в процессе соприкосновения с различными теплоносителями. В зависимости от условий технологического процесса теплообменного аппарата в основном получают рыхлые порошкообразные и пористые твердые частицы.

Наиболее эффективный и универсальный метод борьбы с отложением накипи и коррозией труб теплообменного аппарата – использование защитных металлических, лакокрасочных, полимерных, эмалевых покрытий и т.д.

## **Постановка задачи**

Обследования, проведенные в технологических цехах НПЗ и ТЭС, показали, что трубы теплообменного аппарата раз-

личных диаметров, изготовленные из стали, разрушаются под действием коррозионно-механического износа. Наиболее интенсивно эти процессы протекают по внутренней поверхности теплообменных труб подогревателя и конденсаторов в результате контакта металлической поверхности с минерализованными водами в широком диапазоне температур (300-400°C) и давлений (20-40) МПа. В настоящее время в теплообменных аппаратах для защиты теплообменных труб от коррозии и механического повреждения в высокоминерализованных водах применяются силикатно-эмалевые покрытия [1, 2].

В период эксплуатации покрытия трубы подвергаются резким перепадам температуры, что может вызвать в покрытиях термические напряжения, превышающие предел прочности покрытия, и привести к разрушению слоев покрытия трубы.

## **Метод исследования**

При повышении температуры высокоминерализованной воды деформации покрытия и металла трубы определяются их коэффициентами линейного расширения. В этом случае равновесие двухслойных систем трубы наступает после того, как в покрытии и металле создаются термические напряжения разного знака.

Следует отметить, что при высокой температуре нагревания либо остывании между металлической трубой и силикатно-эмалевым покрытием возникает контактное давление, определяемое по формуле [3, 4]:

$$P_k = \frac{E_1 \delta (R_2^2 - R_1^2) (R_3^2 - R_2^2)}{2R_2^2 (R_3^2 - R_1^2)}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – контактное давление между покрытием и металлом трубы;  $R_1, R_2, R_3$  – соответственно внутренний, пограничный и наружный радиусы покрытия и металла трубы,  $\delta$  – зазор между металлом и покрытием трубы.

$\delta$  вычисляется по формуле [4, 5]:

$$\delta = U_2 - U_1$$

где  $U_1, U_2$  – радиальные перемещения покрытия и металла.

$$U_1 = -\frac{1-\mu_1}{E_1} \frac{R_3^2}{R_3^2 - R_1^2} P_b - \frac{1+\mu_1}{E_1} \frac{R_1^2}{R_3^2 - R_1^2} P_b$$

$$U_2 = \frac{1-\mu_2}{E_2} \frac{R_3^2}{R_2^2 - R_1^2} P_n + \frac{1+\mu_2}{E_2} \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} P_n \quad (2)$$

где  $P_b, P_n$  – внутренние и наружные давления покрытия и металлической трубы,  $E_1, E_2$  – модули упругости покрытия и металла трубы,  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона покрытия и металла трубы.

Радиальные и тангенциальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях силикатно-эмалевого покрытия трубы, определяются по формулам [4, 6]:

$$\sigma_r = \frac{P_k R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 - \frac{R_2^2}{r^2}\right); \quad \sigma_t = \frac{P_k R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 + \frac{R_2^2}{r^2}\right) \quad (3)$$

Опыты показали, что это напряженное состояние по величине иногда превосходит напряжения допустимого значения растяжения (сжатия) покрытия и наблюдаются трещины, отслаивания и разрушения поверхности покрытия трубы.

При охлаждении (нагревании) в поверхностных слоях покрытий возникают продольные термические остаточные напряжения сжатия (растяжения). Эти остаточные напряжения определяются следующим образом [5, 6]:

$$\sigma_0 = \frac{E(R_2^2 - R_1^2) \int_{R_2}^{R_3} \alpha_2 T r dr - E_1(R_3 - R_1^2) \int_{R_1}^{R_2} \alpha_1 T r dr}{(1-\mu_1)R_2^2 (R_2^2 - R_1^2)} \quad (4)$$

Поэтому прочность силикатно-эмалированных труб будет зависеть от остаточных напряжений, возникающих на поверхности покрытия. Кроме того, напряжение по продольной поверхности покрытий определяется по известной формуле [6, 7]:

$$\sigma_{nr} = \frac{\beta_1 E_1 T}{1-\mu_1} Bi \quad (5)$$

где  $r$  – текущий радиус покрытия трубы,  $\beta_1$  – коэффициент линейного расширения покрытия трубы;  $T$  – температура нагрева покрытия трубы;  $Bi$  – критерий ВИО.

$$Bi = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda_1},$$

где  $\alpha_1, \lambda_1$  – коэффициенты теплоотдачи и теплопроводности покрытия трубы.

Суммарные напряжения по продольной поверхности силикатного покрытия трубы рассчитываются следующим образом:

$$\sigma_n = \sigma_{nr} \pm \sigma_0 \quad (6)$$

### Результаты расчета

Для иллюстрации полученных формул (3), (4), (5), (6) проведён расчёт. Учитывая напряжения, возникающие в радиальных, продольных и тангенциальных направлениях силикатно-эмалевого покрытия теплообменной трубы, можно представить условие разрушения покрытия по энергетической теории прочности [5, 7]:

$$\sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_n \sigma_r - \sigma_n \sigma_t - \sigma_r \sigma_t} \leq \sigma$$

Расчет прочности силикатно-эмалевого покрытия теплообменной трубы выполнен при следующих данных:

$$T=300\div 400^{\circ}\text{C}; \mu_1=0,280; \mu_2=0,207;$$
$$E_1=0,75\times 10^5\text{МПа}; E_2=2,1\times 10^5\text{МПа};$$
$$\alpha_1=8,13\times 10^{-3}\text{c}^{-1}; \alpha_2=13,6\times 10^{-3}\text{c}^{-1}$$

В таблице приведены результаты расчетов покрытия трубы. Полученные расчеты позволяют определить условие разрушения силикатно-эмалевого покрытия теплообменной трубы аппарата.

**Таблица** – Параметры и расчётные значения предела прочности покрытий труб  
**Table** – Parameters and calculated values of the ultimate strength of pipe coatings

Размеры Труб, мм	Толщины покрытия, мм	Температурные напряжения покрытия, Мпа			Остаточные напряжения $\sigma_0$ , Мпа	Предел прочности покрытия [ $\sigma_{\text{п}}$ ], МПа
		$\sigma_n$	$\sigma_r$	$\sigma_t$		
Ø 19×1,5	0,1÷0,2	28,5	35,4	16,2	21,4	46,2
Ø 25×2,5	0,2÷2,5	32,4	40,2	18,5	24,6	58,4
Ø 32×4,0	0,3÷0,4	38,5	46,3	20,4	26,2	61,2
Ø 27×3,5	0,4÷0,5	40,2	51,2	22,5	30,5	70,3
Ø 57×3,5	0,5÷0,8	42,3	56,5	28,4	32,4	75,1

### Заключение

Исследование напряженного состояния силикатно-эмалевого покрытия трубы даёт возможность определить предел прочности покрытия теплообменной трубы под ее действием в условиях высоких температур и давлений.

Анализ результатов расчёта показывает, что прочность силикатно-эмалевого

покрытия в основном зависит от геометрических размеров и физико-механических характеристик покрытия труб.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

### REFERENCES

1. **Petcold A.** Emal i emalirovanie. M: *Metallurgiya*. 1990. – 446 s. (in English)
2. **Ibragimov N.Yu.** Vliyaniye sherohovatosti poverhnosti na perepad temperatury v steklo-emalirovannykh pokrytyyah trub. *Promyshlennaya energetika*. M., 2013, №4. s.33-35(in Russian)
3. **Maksutov R.A., Kan A.G.** Osteklovannyye trubyy v neftyanoj promyshlennosti. M., 1973. – 203 s. (in Russian)
4. **Belyaev N.M.** Soprotivleniye materialov. M.: *Mashinostroeniye*. 2001. – 576 s. (in Russian)
5. **Ibragimov N.Yu.** Vyyavleniye treshchin na poverhnosti silikatnykh pokrytij trubyy. *Promyshlennaya energetika*. Moskva: *NPO*, 2019, №9, s. 21-23 (in Russian)
6. **Mamedtagizade A.M., Babaev E.F., Jabbarova G.V.** Prakticheskoye vnedreniye tekhnologii rasshiryaemykh trub neftegazovykh mestorozhdenij. *Vestnik Azerbayjanskoy Inzhenernoy Akademii*. Tom 10, №1, s.63-75 (in Russian)
7. **Həbibov İ.Ə., Nəcəfquliyeva R.S.** Soyuducu qurğuda istilikötürmə prosesin odelləşməsi əsasında yekun temperaturun paylanmasının qiymətləndirilməsi. Cild11. №2, s.47-51. (in Azerbaijani)

## **The Effect of Skin Factor on Well Production**

**M.A. Dadashzade, G.G. Mammadova**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave, 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*

**For correspondence:**

Mammadova Gulbahar / e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

**Abstract**

As it is known, during the drilling and operation of oil fields, an additional zone arises where heavy fractions can accumulate. These fractions can be drilling fluid or heavy components such as paraffin, asphaltene, resin, which partially clog the porous medium. All this worsens the permeability of the buttonhole zone. Reducing the permeability of the buttonhole zone partially reduces the productivity of the well. The analysis performed shows that the advance clarification of this zone makes it possible to regulate the proposed method and carry out additional work on the face or buttonhole zone of the post in time.

**Keywords:** skin factor, skin zone, conductivity, relative phase conductivity, pressure, volumetric extraction, dynamic viscosity, buttonhole, buttonhole zone.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_26\_31

**Received** 03.04.2022

**Revised** 14.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

**For citation:**

*Dadashzade M.A., Mammadova G.G.*

[The Effect of Skin Factor on Well Production]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 26-31 (in Azerbaijani)*

## **İstismar quyusunun hasilatına skin-faktorunun göstərdiyi təsir**

**M.Ə. Dadaşzadə, G.G. Məmmədova**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı ş., AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Məmmədova Gülbahar / e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

### **Xülasə**

Məlum olduğu kimi, neft yataqlarının qazılması və istismarı zamanı ağır fraksiyaların yığılmasının mümkün olduğu əlavə zona yaranır. Bu fraksiyalar qazma mayesi və ya məsaməli mühiti qismən bağlayan parafin, asfalten, qatran kimi ağır komponentlər ola bilər. Bütün bunlar quyudibi zonasının keçiriciliyini pisləşdirir. Quyudibi zonanın keçiriciliyinin azaldılması quyunun məhsuldarlığını qismən azaldır. Aparılan təhlillər göstərir ki, bu zonanın qabaqcadan dəqiqləşdirilməsi təklif olunan üsulu tənzimləməyə və quyudibi zonada əlavə işlərin vaxtında aparılmasına imkan verir.

**Açar sözlər:** skin-faktor, skin-zona, keçiricilik, nisbi faza keçiriciliyi, təzyiq, həcmi hasilat, dinamiki özlülük, quyudibi zona

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_26\_31

УДК 622.654.12

## **Влияние скин-фактора на дебит добывающей скважины**

**M.A. Дадашзаде, Г.Г. Мамедова**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Мамедова Гульбахар / e-mail: gulbahar.mammadova@mail.ru

### **Аннотация**

При бурении и эксплуатации нефтяных месторождений возникает дополнительная зона, где возможно накопление тяжелых фракций. Этими фракциями могут быть буровой раствор или тяжелые компоненты, такие как парафин, асфальтен, смола, которые частично забивают пористую среду. Все это ухудшает проницаемость призабойной зоны. Уменьшение проницаемости призабойной зоны частично уменьшает производительность скважины. Проведенный анализ показывает, что предварительное уточнение данной зоны дает возможность регулировать предложенный метод и вовремя проводить дополнительные работы на забое или в призабойной зоне пласта.

**Ключевые слова:** скин-фактор, скин-зона, проводимость, относительная фазовая проводимость, давление, объемная экстракция, динамическая вязкость, забой, призабойный зоны.

## Giriş

Layların açılması, qazma prosesinin axırcı və ən çətin mərhələsidir. Belə ki, qazma zamanı quyuda hidrostatik təzyiqin artması nəticəsində lay təzyiqi ilə qarşılıqlı münasibət dəyişir, yəni quyuda təzyiqin artması qazma məhlulunun laya keçməsi ilə qurtarır. Bunun nəticəsində laya daxil olan gilli məhlul layın məsaməliyini azaldır. Bu öz növbəsində keçiriciliyin azalmasına və son nəticə kimi məhsuldarlığın azalmasına səbəb olur. Bundan əlavə layda təzyiq və temperaturun azalması nəticəsində quyu ətrafı zonada ağır fraksiyaların çökməsi müşahidə olunur. Bu komponentlər yəni parafin, asfalten və qətran bu zonada çökmür və bu da quyu ətrafı zonada məsaməliyin azalmasına səbəb olur. Bu da öz növbəsində məhsuldarlığın azalmasına və son nəticə kimi hasilata mənfəət təsir edir [1-5].

Layın açılmasında işlədilən yuma mayesinə olan tələblərdən başqa, verilmiş layın təbii keçiriciliyinin çoxalması üçün görülən əlavə tədbirlər də böyük əhəmiyyəti olan əsas məsələlərdən biridir.

## İşin məqsədi

İndiki zamanda müxtəlif xassəli gilli məhlullardan istifadə olunur. Bəzi hallarda yuyucu maye kimi sudan da istifadə olunur. Praktika göstərir ki, quyuda istifadə olunan maye laya daxil olduqda quyunun mənimnəsilməsi xeyli çətinləşir və belə quyuların mənimnəsilməsi ilə məhsuldalığı da azalır. Bunu yaradan səbəblər aşağıdakılardır:

a) Quyu qazma zamanı istifadə edilən istismar layının təşkil olunduğu kvarts qumlarını yaxşı isladır. Onda su-neft sərhədində yaranan kapilyar təzyiq nəticəsində, maye quyudibi ətrafından çox uzaq məsafəyə sıxışdırılır.

b) Quyu məhlulunun təsiri nəticəsində laya daxilindəki gilli hissəciklər sıxışdırılır. Bu da layın keçiriciliyini azaldır.

c) Quyu ətrafı zonanın su ilə dolması artdıqca layın neftə görə faza keçiriciliyi azalır.

d) Laya daxil olan gilli məhlul çoxaldıqca o gilləşir. Bu isə quyu ətrafı zonanın keçiriciliyinin azalmasına səbəb olur.

Deməli, yuxarıda göstərilən səbəblərə görə quyu ətrafında yeni bir zona yaranır. Bu deyilən səbəblər laydan gələn axının azalmasına səbəb olur. Deyilənlərə əsasən məhsuldar layı iki qrupa bölmək olar:

1) Lay daxili təzyiqi yüksək olan məhsuldar yataq;

2) Lay daxili təzyiqi kiçik olan məhsuldar yataq.

Lay təzyiqi yüksək olan məhsuldar layları istismar edərkən istifadə olunan maye nəticəsində fontan vurmanın qarşısı alınmalıdır. Ona görə də quyu ətrafı zonanın çirklənməsinin qarşısını almaq üçün gilli məhlulun sıxlığı (2000-2300) kq/m<sup>3</sup> bərabər olmalıdır. Bunun üçün gilli məhlula hematit, barium ağırlaşdırıcıları əlavə edilir.

Lay təzyiqi yüksək olmayan az məhsuldarlı laylardan istifadə etdikdə isə təbii keçiriciliyi saxlamaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə olunur:

1. Bunun üçün kolloid məhlullarından istifadə olunur. Məhlulun kolloidlərini artırmaq üçün bentonit maddələrindən, məsələn xüsusi gillərdən (gilabi, akvagel) istifadə olunur;

2. Məhlula neft əlavə etməklə, məhsuldar lay açılır. Bundan başqa lay çox udduqda məhlulun udma qabiliyyəti dəyişir;

3. Qazma məhlulu səthi gərilməsi az olan qələvi lay sularında istifadə olunmalıdır.

4. Qazma məhlulu və yuma məhlulu kimi səthi aktiv maddələrdən (sulfanol, azolyat və s.) istifadə olunmalıdır.

5. Quyu dibində çökmüş ağır maddələri eritmək üçün turşu tərkibli maddələrdən istifadə olunmalıdır.

### İşin yerinə yetirilməsi

Bildiyimiz kimi, quyular hidrodinamik sementlənmiş və natamam quyulara ayrılırlar. Ədəbiyyatdan bildiyimiz kimi, hidrodinamik tamamlanmış quyu dedikdə layın bütün qalınlığında açıldığı və lay qarşısında heç bir süzgeç olmayan quyu nəzərdə tutulur. Qeyd etmək olar ki, quyular ya məhsuldar layın tam açılmaması, ya da lay qarşısında müxtəlif filtrlərin olması nəticəsində hidrodinamik natamamlıq yaradır. Belə quyulara layın açılma dərəcəsinə görə hidrodinamik natamam quyular deyirlər. Əgər istismar quyusu ilə lay filtri və perforasiya dəlikləri arasında əlaqə varsa, onda belə quyulara layın açılma xarakterinə görə hidrodinamik natamam quyular deyilir.

İstismar quyusu eyni zamanda həm layın açılma dərəcəsinə, həm də açılma xarakterinə görə natamam olurlar.

Qeyd etmək olar ki, eyni şərtlər daxilində tamamlanmamış quyunun hasilatı natamam quyunun hasilatından çox olur, çünki natamam quyuda lay enerjisinin bir hissəsi, dəşiklərdə maye sürətinin artması və istiqamətinin dəyişməsi nəticəsində yaranan əlavə sürtünmə müqavimətinin dəf olunmasına səbəb olur.

Müəyyən zaman daxilində çıxarılan mayenin miqdarı istismar quyusunun hasilatı (debiti) adlanır.

Bildiyimiz kimi, neft çox kiçik sürətlə hərəkət edir. Ona görə də quyunun hasilatını hesablayarkən, hərəkət xətti süzülmə qanununa görə təyin olunur. Qəbul edək ki, bütün sahədə qalınlığı eyni olan bircins laydan quyuya

xətti süzülmə qanunu üzrə bircins sıxılmayan maye, neft və ya lay suyu hərəkət edir [6, 7]. Mayenin səthi üçün Darsi düsturu belə ifadə edilir :

$$Q = \frac{2\pi rh}{\mu} k \frac{dp}{dr} \quad (1)$$

Burada,  $Q$  - sıxılmayan mayenin sərfidir,  $r$  - ixtiyari radiusdur,  $h$  - layın qalınlığı,  $k$  - bircins layın keçiriciliyidir,  $\mu$  - mayenin (neftin, lay suyunun) dinamik özlülüyüdür,  $\frac{dp}{dr}$  - təzyiq qradientidir.

Tənliyi aşağıdakı kimi ifadə edək:

$$\frac{1}{k} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi h}{\mu Q} dP \quad (2)$$

İndi hesabatə yeni bir zonanın parametrlərini əlavə edək. Bu zonaya xarici ədəbiyyatda Skin-zona deyirlər. Bu zonanın keçiriciliyi layın keçiriciliyindən fərqlənir. Bu zonanın sərhəddində təzyiq də lay təzyiqindən fərqlənir. Bu zonanın radiusunu nəzərə alsaq, onda alırıq:

$$\int_{R_q}^{R_s} \frac{1}{k_s} \frac{dr}{r} + \int_{R_s}^{R_k} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi h}{\mu Q} \int_{P_q}^{P_k} dP \quad (3)$$

Burada,  $R_q$  - götürülmüş radiusdur,  $k_s$  - skin-zonanın keçiriciliyidir,  $R_s$  - skin-zonanın radiusdur,  $P_q$  - quyudibi təzyiqdir,  $P_k$  - quyu konturunda təzyiqdir.

İntegralı açıdıqda:

$$\frac{1}{k_s} \ln \frac{R_s}{R_q} + \frac{1}{k} \ln \frac{R_k}{R_s} = \frac{2\pi h}{\mu Q} (R_k - P_q) \quad (4)$$

Tənlikdə aşağıdakı şəkildə ifadə edək:

$$\frac{1}{k} \left[ \frac{k}{k_s} \ln \frac{R_s}{R'_q} + \ln \frac{R_k}{R_s} \right] = \frac{2\pi h}{\mu Q} (P_k - P_q) \quad (5)$$

İndi tənliyə əlavə olaraq yeni parametr əlavə edək və çıxaraq:

$$\frac{1}{k} \left[ \frac{k}{k_s} \ln \frac{R_s}{R'_q} + \ln \frac{R_k}{R_s} - \ln \frac{R_s}{R'_q} + \ln \frac{R_s}{R'_q} \right] = \frac{2\pi h}{\mu Q} (P_k - P_q) \quad (6)$$

Onda qruplaşdırma olaraq:

$$\frac{1}{k} \left[ \left[ \ln \frac{R_s}{R'_q} \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) + \left( \ln \frac{R_s}{R'_q} + \ln \frac{R_k}{R_s} \right) \right] \right] = \frac{2\pi h}{\mu Q} (P_k - P_q) \quad (7)$$

İndi hesabata yeni bir parametr – Skin-faktoru parametrini daxil edək:

$$S = \ln \frac{R_s}{R'_q} \left( \frac{k}{k_s} - 1 \right) \quad (8)$$

Skin-faktor – ölçüsüz parametrdir.

Deməli, biz quyuyu ətrafı zonada yaranan əlavə zonanı nəzərə aldıq [8].

Bildiyimiz kimi, quyular əsasən natamam olur. Natamam quyularda filtrin, perforasiya dəşiklərinin olması əlavə müqavimət yaradır. Belə quyularda bu əlavə süzgəcin və perforasiya dəşiklərinin olması əlavə müqavimətin yaranmasına səbəb olur. Deməli, başqa şərtlər daxilində natamam quyuların hasilatı, tamamlanmış quyunun hasilatından az olur. Ona görə sonuncu düsturda əlavə bir göstərici daxil edilir:

$$Q = \frac{2\pi h k}{\mu} \frac{P_k - P_q}{S + \ln \frac{R_k}{R'_q}} \quad (9)$$

İstismar quyusunun natamamlığını - natamam quyunun, hasilatı onun hasilatına bərabər olan fiktiv tamamlanmış quyuyu ilə əvəz etməklə də nəzərə almaq olar.

Belə fiktiv tamamlanmış quyunun radiusu natamam quyunun radiusundan çox kiçik olur, ona gətirilmiş radius deyirlər. Onda hasilat belə ifadə olunur.

$$Q = \frac{2\pi h k}{\mu} \frac{P_k - P_q}{C + \ln \frac{R_k}{R_q e^{-c}}} \quad (10)$$

Burada:  $R_q$  - həqiqi radiusdur,  $C$  – hidrodinamik natamamlığı ifadə edən əmsaldır.

Bəzi hallarda sonuncu tənliyi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$Q = \frac{2\pi h k}{\mu} \frac{P_k - P_q}{C + \ln \frac{R_k}{R_q} + c} \quad (11)$$

$C = C_1 + C_2$  kimi ifadə etmək olar. Burada,  $C_1$  - layın açılma xarakterini,  $C_2$  - isə layın açılma dərəcəsinə görə quyunun natamamlığı nəticəsində əlavə müqavimətləri nəzərə alan əmsaldır. Bu əmsalları riyazi həll etmək çətin olduğu üçün V.Ş. Şurov onları elektrolit modelində təyin edərək, müəyyən hesablamada düsturlarını verib.

$C_1$  əmsalı süzgəcin uzunluğundan və dəşiklərin sayından asılıdır;

$$n = \frac{N}{h_0}$$

burada,  $N$  - perforasiya dəşiklərinin ümumi sayıdır,  $h_0$  - məhsuldar layın açılmış qalınlığıdır;  $nD$  - parametrdən ( $D$  – istismar quyunun balta üzrə diametridir).  $\alpha = \frac{d}{D}$  - parametrdən ( $d$  - perforasiya dəşiklərinin diametridən);  $e = \frac{l}{D}$ ; ( $l$  - perforasiya qülləsinin laya daxil olma uzunluğudur).

$C_2$  əmsalını təyin etmək üçün əvvəlcə layın dəşiklərinin açılmış qalınlığının onun ümumi qalınlığına olan nisbətindən və layın

açılmış qalınlığının quyunun diametrinə olan nisbətindən asılıdır.

Sonuncu tənlikdən aşağıdakı yeni bir parametri alağ.

$$\sum S = S + C \quad (12)$$

Burada,  $\sum S$  - ümumiləşdirilmiş Skin-faktoru adlanır.

Sonuncu tənlikdən hər bir parametrik quyuların hidrodinamik tədqiqatını aparmaqla Skin-faktorunu təyin etmək olar.

### Nəticə

İstismar quyuları qazma zamanı məhsuldar laya daxil olan qazma məhlulu nəticəsində əlavə müqavimət yaradır. Bunun nəticəsində quyu ətrafı zonada yeni bir zona, keçiriciliyi

azalmış zona yaranır. Bu zonaya isə skin-zona deyilir.

Skin-zonada yaranan əlavə müqavimət quyunun hasilatına təsir edir.

İstismar zamanı quyu gövdəsində müxtəlif ağır komponentlərin çökməsi baş verir. Onlar da quyu gövdəsində əlavə müqavimət yaradır.

Bu müqavimətlərin cəmi ümumiləşdirilmiş skin-faktor yaradır. Bu parametrisə hidrodinamik tədqiqatlar nəticəsində təyin olunur.

### Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

## REFERENCES

1. **Mirzajanzadə A.X., Ahmadov Z.M., Gurbanov K.S.** Oil layer physics. Baku: *Maarif*, 1983, p. 330 (in Azerbaijani)
2. **Basniev K.S., Vlasov A.M., Kochina I.N.** Underground hydraulics. M.: *Nedra*, 1986, 303 p. (in Russian)
3. **Sh. K. Ghimatudinov, Yu. P. Borisov, M.D. Rosenberg** et al. Reference manual for planning of development and exploitation of oil fields. M.: *Nedra*, 1983, 463 p. (in Russian)
4. **Barenblatt G.I., Entov V.M., Ryzhik V.M.** Movement of liquids and gases in natural layers. M.: *Nedra*, 1994, 327 p. (in Russian)
5. **Zheltoy Yu.P.** Mechanics of oil and gas reservoir M.: *Nedra*, 1975, 211 p. (in Russian)
6. **Shchurov V.I.** Технология и техника довычи нефти. M.: *Nedra*, 1983, 510 p. (in Russian)
7. **Mammadova G.G.** Basics of designing gas-condensate deposit development systems in complex conditions // *Engineering mechanics*, no. 1, 2002, pp. 80-85 (in Azerbaijani)
8. **Mammadova G.G.** Sequential filtration of various incompressible non-miscible liquids in a homogeneous layer in various simple streams under different laws of filtration // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, vol. 14, 2022, no. 1, pp. 52-59 (in Azerbaijani)

## **Prospects of Using the Cavitation Technologies in Transportation**

**A.N. Gurbanov, I.Z. Sardarova**

*Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Gurbanov Abdulaga / e-mail: qabdulaga@mail.ru

### **Abstract**

The paper explores the aspects negatively affecting the pipeline transportation of heavy oil and reviews the implementation possibility of cavitation processes as an alternative method of solving occurring problems. Based on the laboratory research of abnormal oil from Azerbaijan fields, the parameters and technical upgrade of heavy oil in the system of hydrodynamic cavitation have been studied. Moreover, as a result of carried out experiment, the operation mechanism of cavitation process during reduction of heavy oil viscosity is described and the implementation prospect of this technology in commercial scales is analyzed as well.

**Keywords:** heavy oil, cavitation, viscosity, pipeline transportation, emulsion, microcracking.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_32\_39

**Received** 09.04.2023

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Gurbanov A.N., Sardarova I.Z.*

[Prospects of Using the Cavitation Technologies in Transportation]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 32-39 (in English)*

## **Nəql zamanı kavitasiya texnologiyalarından istifadə perspektivləri**

**Ə.N. Qurbanov, İ.Z. Sərdarova**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Qurbanov Əbdülağa / e-mail: qabdulaga@mail.ru

### **Xülasə**

Məqalədə ağır neftlərin boru kəmərləri ilə nəqli zamanı mənfi təsir göstərən amillər araşdırılmış və yaranan problemlərin həllində alternativ bir metod olaraq kavitasiya proseslərindən istifadə edilməsi nəzərdən keçirilmişdir. Azərbaycan yataqlarından hasil edilən yüksək özlülüklü neftlərin laboratoriya tədqiqatları əsasında, hidrodinamik kavitasiya sistemində ağır neftin modernləşdirilməsinin şərtləri, parametrləri və nəticələri öyrənilmişdir. Bundan əlavə, təcrübələr nəticəsində kavitasiya prosesi zamanı ağır neftlərin özlülüyünün dəyişməsi mexanizmi izah edilmiş və bu texnologiyanın kommersiya miqyasında istifadəsinin mümkünlüyü təhlil olunmuşdur.

**Acar sözlər:** ağır neft, kavitasiya, özlülük, boru kəməri, emulsiya, mikrokrekinq.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_32\_39

УДК 622.692.4

## **Перспективы использования кавитационных технологий при транспортировке**

**А.Н. Гурбанов, И.З. Сардарова**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Гурбанов Абдулага / e-mail: qabdulaga@mail.ru

### **Аннотация**

В статье исследованы факторы, оказывающие негативное влияние при транспортировке тяжелой нефти по трубопроводам, и рассмотрено использование процессов кавитации как альтернативного метода решения проблем. На основе лабораторных исследований высоковязких нефтей, добываемых на месторождениях Азербайджана, изучены условия, параметры и результаты модернизации тяжелой нефти в гидродинамической системе кавитации. В результате проведенных экспериментов объяснен механизм изменения вязкости тяжелых нефтей в процессе кавитации и проанализирована возможность использования данной технологии в промышленных масштабах.

**Ключевые слова:** тяжелая нефть, кавитация, вязкость, трубопровод, эмульсия, микротрещина.

## **Introduction**

In the last two decades, the global oil industry has undergone significant changes that have created a new production and commercial situation. All these processes deeply affect the production, consumption and trade of oil, which, despite serious efforts to increase the share of alternative energy sources, remains the main energy resource and continues to have a significant impact on the development of the global economy [1].

Oil, in turn, is basically a mixture of hydrocarbons, which can be conditionally divided into light and heavy, taking into account its viscosity and density. The viscosity of ordinary light oil varies in the range of 0.001-0.01 Pa·s, and the viscosity of heavy oil is higher than 0.02 Pa·s [2]. For comparison, it can be noted that the viscosity of water is 0.001 Pa·s.

Crude oil with API density of 22.5 is classified as heavy [3], with API or less belongs to the group of superheavy oils that are heavier than water. On the contrary, the density of tobacco light oil (Brent&WTI) varies between 38° and 40°API.

It should be noted that the extraction, transportation and processing of heavy oil in comparison with light is a more labor-intensive process, since the traditional technologies that exist today were designed mainly for the production of light oil. But despite this, the growing demand for oil and the gradual depletion of deposits of traditional light oil due to long-term operation increases the demand for heavy oil production. The world's heavy oil reserves are mainly accounted for by countries such as Canada, the USA and Venezuela. According to the latest statistics, there is more heavy oil in Venezuela than in the Middle East. Currently, there is

enough in Canada to meet its current demand for over 200 years [4].

The composition of heavy oil includes a low concentration of low molecular weight compounds and light fractions against the background of a high volume of asphaltenes, resins and paraffins [5]. There is also a claim that the viscosity of heavy oil varies depending on the volume fraction, chemical structure and physico-chemical properties of asphaltenes. In turn, it is known that oil grades containing significant amounts of asphaltenes and naphthenic acids are prone to the formation of stable oil-water emulsions, which are difficult to separate (water and oil) dispersed systems [6].

In addition, heavy oil also contains large amounts of sulfur, nitrogen, salts and heavy metals such as nickel and vanadium [7].

As it was noted, operations related to heavy oil, in one form or another, face technological and financial problems. One of the main roots of the problem is the high viscosity of heavy oil, which leads to complications at all stages of production. For example, a decrease in the return of oil by the reservoir due to its very low mobility at low temperature.

At the next stage of production, high viscosity negatively affects surface operations, namely complicates the processes of dehydration and desalination of oil.

On the other hand, the transportation of heavy oil, especially through pipelines, is also difficult, since the high viscosity of oil increases the cost of overcoming large friction pressure losses. Given the aforementioned difficulties associated with heavy oil, the development of new resource-saving technologies for its extraction, transportation

and processing is becoming increasingly urgent.

The solutions currently available are based on the use of various technological methods, such as heat treatment, addition of chemical additives, mixing with light hydrocarbons, electrostatic devices and other alternative technologies. All these technologies have a common goal: to reduce the viscosity of heavy crude oil and improve its quality [8].

### **Setting the issue**

The purpose of this article is to show the possibility of using cavitation processes as an alternative method for solving problems associated with the transportation of heavy oil. Although the application of the cavitation phenomenon in various operations with oil has long been studied by scientists, nevertheless, it is too early to talk about the introduction on an industrial scale due to a lack of knowledge, experience and evidence. As it was noted earlier, asphaltenes, resins and paraffins contained in high concentrations in the composition of heavy oil and increasing its freezing point are an integral part of high-viscosity oil. Asphaltenes are polycyclic aromatic highly condensed heavy molecules that are considered as resin compaction products [9]. The molecules of paraffin and resins form some kind of randomly arranged long lattices in the composition of oil, which is why the viscosity does not obey the laws of Stokes, Newton and Poiseuille. Therefore, the system provides significant resistance to shear forces. In addition, the combination of asphaltenes, resins and paraffins in the composition of oil contributes to the creation of conditions for the formation of aggregates of paraffin crystals and their adhesion to the

surface, thereby forming asphalt-resin-paraffin deposits (ASPs) in pipes.

### **Solution methods**

Recent studies show the possibility of improving the above rheological and qualitative properties of oil using cavitation technologies. Cavitation is defined as the generation of subsequent growth and destruction of bubbles / cavities of steam or gas in a liquid with a local decrease in pressure to the pressure of saturated vapors of a liquid: as a result of an increase in velocity (hydrodynamic) or the passage of an acoustic wave (acoustic). This is due to the fact that the negative pressure created is higher than the local strength limit of the liquid, since the formation of cavities requires overcoming the forces of adhesion of the liquid. The coupling forces, in turn, vary from fluid to fluid, taking into account the type, composition and frequency.

The more liquid is contaminated with fine particles, the easier it is to initiate cavitation at moderate negative pressures. The collapse of cavitation bubbles is accompanied by bursts of pressure (up to several hundred Mpa) and temperature (several thousand degrees Kelvin), while similar environmental conditions remain unchanged.

The destruction of bubbles occurs at a high rate, which leads to the emergence of millions of foci of high temperature and pressure, in other words, extreme physical and chemical conditions are created. Thus, cavitation can be used to carry out various reactions that require harsh conditions at minimal cost to change the environment. There are several methods of cavitation regeneration, but mainly hydrodynamic and acoustic are used in the oil industry.

Hydrodynamic cavitation is generated when pressure changes due to areas of variable velocity created using the geometry of the system. Examples of such geometry can be constrictions in cranes, throttle valves, valves, diaphragms, valves, pumps, hydraulic turbines, Venturi tubes, etc. Acoustic cavitation is created by changing the pressure in the liquid using sound waves, usually ultrasonic (16kHz-100MHz). Chemical changes associated with cavitation caused by the passage of sound waves are usually called sonochemistry. Ultrasonic cavitation can be used to destroy oil-water emulsions during pipeline transportation of oil. Oil-water emulsions are mainly formed as a result of long-term exploitation of deposits and flooding of reservoirs, as well as with artificial impact on the well-developed zone to increase production. As is known, the composition of oil includes natural emulsifiers, such as colloidal resin solutions, asphaltenes, paraffins, which contribute to the formation of

stable oil-water emulsions. Modern methods of oil dewatering include settling in special settling tanks, the use of electric fields, the addition of various chemical reagents, the use of coalescing filters. In the case of heavy oil, which is rich in the content of the above emulsifiers, the separation of water from oil by traditional methods is difficult.

The experiments were carried out on a cavitation impact device, the basis for the creation of which was a high velocity at which the pressure dropped to the value of the saturated vapor pressure, which led to the formation and collapse of cavitation cavities. As a result of exposure to high-energy pulses (high temperature and pressure) of cavitation bubbles, large molecules of heavy oil turn into light hydrocarbon molecules, which leads to a decrease in viscosity after the cavitation zone. The decrease in the kinematic viscosity of Azerbaijani oil when passing through the cavitation zone is shown in Table 1.

**Table 1** – Reduction of kinematic energy when passing through the cavitation zone of Azerbaijani oil

<b>Indicators</b>	<b>Experimental results</b>					
Viscosity up to the cavitation zone at 20°C, mm <sup>2</sup> /s	14,6	12,8	12,3	12,8	13,7	13,9
Viscosity after the cavitation zone at 20°C, mm <sup>2</sup> /s	12,8	12,0	11,0	11,5	11,3	12,3
Iodine number before cavitation, g of iodine per 100 g of fractions	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6
Iodine number after cavitation, g of iodine per 100 g of fractions	1,3	1,1	0,95	1,12	1,3	1,2

The results of analyses of heavy oil before and after the cavitation zone give grounds to assert that, due to the rupture of intermolecular bonds of oil, the process of microcracking occurs, as evidenced by an increase in the iodine number (according to

GOST-2070-82). It should be noted that the intensity of the occurrence of cavitation and its development in oil are influenced by the pressure of saturated oil vapor, the steepness of the curve of the dependence of saturated oil vapor pressure on temperature, viscosity,

surface tension, the amount of dissolved and free gas in oil, the residence time of oil in the zone with reduced pressure, the nature of the flow itself before entering the cavitation zone (laminar or turbulent), etc. Viscosity can have a two-way effect on the cavitation potential of oil. On the one hand, the high viscosity of oil is able to increase the adhesion force of the liquid, thereby preventing the formation of cavitation cavities. On the other hand, high viscosity, creating resistance, can increase pressure losses when narrowing at the entrance to the cavitation device to the places where cavitation occurs, where it is necessary to achieve a saturated vapor pressure value, thereby accelerating the onset of cavitation. In petrochemistry, it is considered that the ratios of paraffin to resin and to asphaltene are the

key parameters controlling the stability of paraffin and asphaltene structures in the composition of oil. When the proportion of asphaltenes in relation to paraffin decreases, then due to the increased influence of resins, paraffin crystals form ribbon aggregates that increase viscosity. And since microcracking occurs as a result of cavitation in oil, cavitation can in one way or another change the ratio of paraffin to resin and asphaltene, thereby leading to viscosity variations.

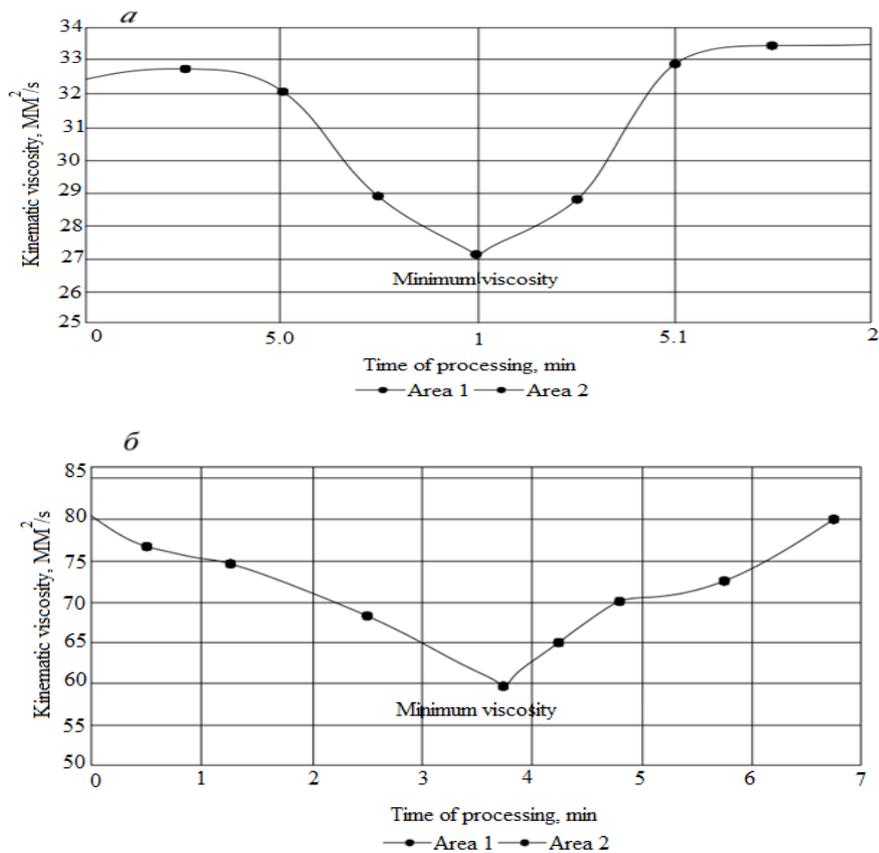
To study this theory, experiments were carried out to change the viscosity depending on the time of cavitation exposure. The experiments were carried out with samples of paraffin and resinous oil from the Shykhbagi and Shirvan deposits, the characteristics of which are given in Table 2.

**Table 2** – Characteristics of oils from Shikhbagi and Shirvan fields according to paraffin and tar

Deposits	Kinematic viscosity at 20°C, mm <sup>2</sup> /s	Mass fraction		
		Paraffin	resins	Asphaltenes
Shykhbagi	32,48	12,3	15,72	2,35
Shirvan	78,75	4,36	12,21	5,21

Based on the experiments, graphs of the dependence of the kinematic viscosity of oil on the time of cavitation treatment for oil from the Shykhbagi and Shirvan fields were constructed (Figure). As can be seen from the graphs, the viscosity change is divided into two areas. In the first area, cavitation treatment accelerates diffusion, depending on the time of cavitation treatment of oil in the paraffin cavity, intensifies the process of its destruction, i.e. with C or With S, the bonds of heavy oil molecules are broken and free

radicals are. The second region begins at the moment of viscosity growth, when already formed free radicals eventually go to recovery, forming heavier molecules as a result of cavitation microflows and turbulence. During this period of time, not only paraffin, but also asphaltene free radicals can act as embryos for the creation of heavy molecules. This means that with an increase in the time of cavitation treatment, the abnormal properties of oil among the molecules of paraffin, resins and asphaltenes can be restored.



**Figure** – The change in the kinematic viscosity of the oil of the Shykhbagi (a) and Shirvan (b) fields formed, which leads to a decrease in viscosity

It should also be noted that the effect of cavitation treatment on viscosity reduction was more noticeable on resinous oil of the Shirvan field (25.1%) than on paraffin oil of the Shykhbagi field (16.6%).

**Conclusion**

Based on the experiments conducted and the study of the effect of cavitation on oil, it can be concluded that each oil has an optimal time of cavitation action, determined by the point of minimum viscosity, after which the viscosity begins to increase. This time interval should be taken into account when applying cavitation to reduce the viscosity of heavy oil.

In addition, the most important result of this study from the point of view of the technological process of applying cavitation is that it is sensitive to the characteristics of oil. This means that each oil has a specific development process and before creating a large-scale installation, it is mandatory to perform laboratory tests and experimental studies.

**Conflict of Interests**

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. **Yakovlev P.P.** Neft v globalnoj ekonomike i mirovoj trgovle // *Mezhdunarodnaya trgovlaya v trgovoya politika*, 2018, № 3, s. 100-114 (*in Russian*)
2. **Avvaru B., Venkateswaran N., Uppara P., Iyengar S., Katti S.** Current Knowledge and Potential Applications of Cavitation Technologies for the Petroleum Industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, v. 42, pp. 493-507.
3. **Conaway C.** The Petroleum Industry: A Nontechnical Guide. 1999, Tulsa: Pennwell Publishing Co.
4. **Chiras D.D.** Environmental science, Non-renewable Energy Sources, 9th edition, 2012, Jones & Bartlett publishers.
5. **James G. Speight, Marcel Dekker.** The chemistry and technology of petroleum, 2nd edition, 1991, CRC Press New York.
6. **Qurbanov Ə.N., Quliyev A.S.** 28 May NQCİ-nin Günəşli yatağında texnoloji avadanlıqlar və nəql xətlərində yaranan kondensləşmənin səbəblərinin araşdırılması. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. 2015. № 4. s. 75-85.
7. **Ismajylov G.G., Safarov N.M., Nurmamedova R.G., Aliev S.T.** O vozmozhnosti primeneniya fraktalnogo analiza dlya issledovaniya strukturnyh izmenenij i svoystva vodoneftnyah emulsij // *Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Yer Elmləri*, 2013. № 1. s. 76-83 (*in Russian*)
8. **Martinez R., Mosqueira M., Zapata B., Mar E., Bernal C.** Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: a review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2011, 75(3-4), pp. 274-282.
9. **Quintana L., Chavez C., Olaya E.** Sonochemistry: The future of the profitable heavy crude oil operations. Heavy Oil Latin America Conference & Exhibition, 2015.

## **Theoretical Hydrodynamic Problems of Developing Circular Field of Viscous-Plastic Oil with Circular Rows of Exploitation Wells**

**S.G. Novruzova, E.V. Gadashova, I.N. Aliyev**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Novruzova Sudaba / e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

### **Abstract**

In the article, the theoretical hydrodynamic issues of working a circular viscous-plastic oil field with a row of peripheral production wells and one central well are solved. Two issues were considered; In case I, a circular bed is developed by means of a circular row of wells and a central well. In case II, the same deposit is worked through a row of two circular wells and one central well. In both cases, the geological-physical properties of the deposits are the same; all wells have the same radius, the distances between neighboring wells in each row are the same. All the wells are hydrodynamically completed according to the degree of opening of the layer and the nature of the opening. When solving both issues, based on the method of electro-hydrodynamic analogy of percolation theory, using hydrodynamic and electrical schemes, Kirchhoff's law and the method of equivalent hydraulic resistances, a system of equations was drawn up: the daily oil production of rows of peripheral wells and the oil flow formulas of the central well were derived. In both cases, the dates for the full development of the field have been set. To shorten this period as much as possible, it is suggested to affect the layer with heat, i.e., to inject heated water vapor or hot water into the layer.

**Keywords:** circular field, viscoelastic oil, circular row of wells, central well, hot water.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_40\_46

**Received** 07.04. 2022

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Novruzova S.G., Gadashova E.V., Aliyev I.N.*

[Theoretical Hydrodynamic Problems of Developing Circular Field of Viscous-Plastic Oil with Circular Rows of Exploitation Wells]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 40-46 (in Azerbaijani)*

## **Dairəvi özlü-plastik neft yatağının çevrəvi istismar quyuları cərgələri ilə işlənməsinin nəzəri hidrodinamik məsələləri**

**S.H. Novruzova, E.V. Qadaşova, İ.N. Əliyev**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazisma üçün:**

Novruzova Sūdabə / e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

### **Xülasə**

Məqalədə, dairəvi özlü-plastik neft yatağının çevrəvi istismar quyuları cərgəsilə və bir mərkəzi quyu ilə işlənməsinin nəzəri hidrodinamik məsələləri həll edilmişdir. İki məsələyə baxılmışdır; I məsələdə dairəvi yataq bir çevrəvi quyular cərgəsi və bir mərkəzi quyu vasitəsilə işlənir; II məsələdə isə həmin yataq iki çevrəvi quyular cərgəsilə və bir mərkəzi quyu vasitəsilə işlənir. Hər iki məsələdə yataqların geoloji-fiziki xassələri eynidirlər; bütün quyular eyni radiusludurlar, hər cərgədə ayrılıqda qonşu quyular arasındakı məsafələr eynidirlər. Quyuların hamısı layın açılma dərəcəsinə görə və açılma xarakterinə görə hidrodinamik tamamlanmışdırlar. Hər iki məsələni həll edəndə, süzülmə nəzəriyyəsinin elektro-hidrodinamik analogiya metoduna əsasən, hidrodinamik və elektrik sxemlərindən, Kirxhoff qanunundan və ekvivalent hidravlik müqavimətlər üsulundan istifadə edərək, tənliklər sistemi tərtib edilmişdir: çevrəvi quyular cərgələrinin gündəlik neft hasilatları və mərkəzi quyunun neft debiti düsturları çıxarılmışdır. Hər iki məsələdə yatağın tam işlənmə müddətləri təyin edilmişdir. Bu müddəti maksimum ixtisar etmək üçün laya istiliklə təsir etmək, yəni laya qızmış su buxarı, yaxud isti su vurmaq təklif olunur.

**Açar sözlər:** dairəvi yataq, özlü plastik neft, çevrəvi quyular cərgəsi, mərkəzi quyu, isti su.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_40\_46

УДК 622.244.045

## **Теоретические гидродинамические задачи разработки кругового месторождения вязкопластичной нефти с круговыми рядами эксплуатационных скважин**

**С.Г. Новрузова, Э.В. Гадашова, И.Н. Алиев**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Новрузова Судаба / e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

### **Аннотация**

В статье решены две задачи. В первой задаче круговое месторождение разрабатывается одним круговым рядом добывающей скважины; во второй – двумя круговыми рядами добывающих скважин и одной центральной скважиной. В обеих задачах геолого-физические свойства рассматриваемых месторождений одинаковы: все скважины имеют одинаковые радиусы и гидродинамически совершенны по степени вскрытия и по характеру вскрытия пласта; расстояние между соседними скважинами одного ряда одинаково. При решении каждой заданной задачи на основе метода электрогидродинамической аналогии теории фильтрации с использованием гидродинамической и электрической схем из закона Кирхгоффа и способа эквивалентных гидравлических сопротивлений составлена система уравнений. Выведены формулы для суточной добычи круговых рядов скважин и дебита центральной скважины. В обеих задачах определена продолжительность полной разработки месторождения. Для сокращения этой продолжительности предложен способ теплового воздействия на пласт путем закачки нагретого водяного пара или горячей воды.

**Ключевые слова:** круговое месторождение, вязкопластичная нефть, кольцевой ряд скважин, центральная скважина, горячая вода.

## Giriş

Dairəvi yataq horizontal vəziyyətdə yatmışdır və bircinslidir, yəni onu təşkil edən suxurlar yatağın intişar sahəsinin bütün nöqtələrində eyni keçiriciliyə və qalınlığa malikdirlər. Lay şəraitindəki özlü-plastik neft sıxılmayıdır və müəyyən qiymətləri olan struktur-mexaniki xassələrə (SMX) malikdir [1, 2].

## İşin məqsədi

Məqalədə iki məsələ həll edilmişdir. Birinci məsələdə dairəvi yataq bir çevrəvi hasiledici quyular çərgəsilə və bir mərkəzi hasiledici quyu ilə işlənir, ikinci məsələdə isə-iki çevrəvi həledici quyular çərgəsilə və bir mərkəzi quyu ilə. Hər iki məsələdə baxılan yataqların geoloji-fiziki xassələri eynidirlər; bütün quyular eyni radiusludurlar və layın açılma dərəcəsinə və xarakterinə görə hidrodinamik tamamlanmışdırlar; bir çərgədəki quyular arasındakı məsafələr eynidirlər [3-5].

## Məsələnin qoyuluşu

Şəkil 1-də bircərgəli dairəvi yatağın hidrodinamik və elektrik sxemləri göstərilmişdir.

## Məsələnin həlli

Süzülmə nəzəriyyəsinin elektro-hidrodinamik analogiya qanununa əsasən və şəkildəki sxemlərdən, həm də Kirxhoff qanunundan istifadə edərək, aşağıdakı tənliklər sistemini tərtib edirik:

$$\begin{cases} P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02} = (Q_{q1} + Q_{qm})\rho_{11} + \\ + Q_{q1} \cdot \rho_{i1} \\ P_{q1} - P_{q,m} + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04} = \\ - Q_{q1}\rho_{i1} + Q_{qm}(\rho_{12} + \rho_{im}) \end{cases} \quad (1)$$

Bu tənliklər sistemini həll edərək tapırıq:

$$Q_{q1} = \frac{P_{q1} - P_{qm} + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04} - \frac{P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02}}{\rho_{11}}(\rho_{12} + \rho_{im})}{-\rho_{11} - \frac{\rho_{11} + \rho_{i1}}{\rho_{11}}(\rho_{12} + \rho_{im})} \quad (2)$$

$$Q_{qm} = \frac{P_{q1} - P_{qm} + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04}}{\rho_{12} + \rho_{im}} + \frac{\rho_{i1}}{\rho_{12} + \rho_{im}} \cdot \frac{(P_{q1} - P_{qm} + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04}) - (P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02})}{\rho_{11} + (\rho_{11} + \rho_{i1})} \cdot \frac{(\rho_{12} + \rho_{im})/\rho_{11}}{(\rho_{12} - \rho_{im})/\rho_{11}} \quad (3)$$

Düstur (2) ilə çevrəvi quyular çərgəsinin gündəlik neft hasilatı hesablanır; düstur (3) ilə isə mərkəzi quyunun neft debiti təyin edilir. Bu düsturda iştirak edən başlanğıc təzyiqlər aşağıdakı düsturlarla hesablanırlar:

$$\Delta P_{01} = G(R_k - R_1), \quad (4)$$

$$\Delta P_{02} = G(R' - r_q), \quad (5)$$

$$\Delta P_{03} = G(R_1 - R'), \quad (6)$$

$$\Delta P_{04} = G(R'_1 - r_q) \quad (7)$$

Xarici hidravlik müqavimətlər aşağıdakı düsturlarla təyin edilirlər:

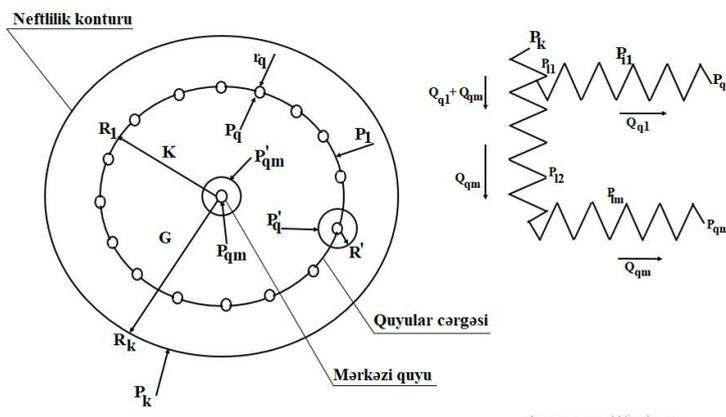
$$\rho_{11} = \frac{2\pi kh}{\eta \ln \frac{R_k}{R_1}}, \quad (8)$$

$$\rho_{12} = \frac{2\pi kh}{\eta \ln \frac{R_1}{R'}}, \quad (9)$$

Daxili hidravlik müqavimətlər aşağıdakı düsturlarla hesablanırlar:

$$\frac{1}{\rho_{i1}} = \frac{\eta}{2\pi kh} \ln \frac{\sigma}{\pi r_q}, \quad (10)$$

$$\rho_{im} = \frac{2\pi kh}{\eta \ln \frac{R'}{r_q}} \quad (11)$$



**Şəkil 1** – Bircərgəli yatağın hidrodinamik və elektrik sxemləri  
**Figure 1** – Hydrodynamical and electric schemes of the one-row field

Şəkildə aşağıdakı şərti işarələr qəbul edilmişdir:  $R_k$  - neftlilik konturunun radiusu,  $R_1$  - çevrəvi quyular çərgəsinin radiusu,  $R'$  - quyunun drenaj zonasının radiusu,  $r_q$  - quyunun radiusu,  $P_k$  - lay təzyiqi,  $P_q$  - həlledici quyunun dinamik dib təzyiqi,  $P_{q,m}$  - həlledici mərkəzi quyunun dinamik dib təzyiqi,  $P'_q$  - həlledici quyunun qidalanma konturundakı təzyiq,  $Q_{q1}$  - çevrəvi quyular çərgəsinin gündəlik neft hasilatı,  $Q_{qm}$  - mərkəzi quyunun neft debiti,  $\rho_{11}$  - neftlilik konturu ilə çevrəvi quyular çərgəsi arasındakı həlqəvi sahədə xarici hidravlik müqavimət,  $\rho_{12}$  - çevrəvi quyular çərgəsilə mərkəzi quyunun drenaj zonası arasındakı həlqəvi sahədə xarici hidravlik müqavimət,  $\rho_{i1}$  - quyular çərgəsində bir quyunun drenaj zonasında daxili hidravlik müqaviməti, G-başlanğıc təzyiq gradienti, K- keçiricilikdir.

Artıq indi verilmiş yatağın tam işlənilmə müddətini təyin etmək olar, çünki bunun üçün lazım olan düsturlar çıxarılmışdır. Bu məsələ həcm üsulu ilə həll olunur [6, 7].

Əvvəlcə, yatağın tam çıxarıla bilən neft ehtiyatının həcmi lay şəraitində təyin etmək lazımdır. Bu həcm aşağıdakı üç hissədən ibarətdir:

1) neftlilik konturu ilə çevrəvi quyular çərgəsi arasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_1 = \pi(R_k^2 - R_1^2) \cdot h \cdot m \cdot b \cdot \omega, \quad (12)$$

2) çevrəvi quyular çərgəsilə mərkəzi quyunun drenaj zonası arasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_2 = \pi(R_1^2 - R'^2) \cdot h \cdot m \cdot b \cdot \omega, \quad (13)$$

3) mərkəzi quyunun drenaj zonası konturu ilə özü arasında qalan hissə:

$$\Omega_3 = \pi(R'^2 - r_q^2) \cdot h \cdot m \cdot b \cdot \omega, \quad (14)$$

Bu düsturlarda  $m$  - layı təşkil edən süxurların məsaməlik əmsalı;  $b$  - neftin həcm əmsalı;  $\omega$  - layın neftlə doyma əmsalıdır.

Tam çıxarıla bilən neft ehtiyatının həcmi:

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 = \pi(R_k^2 - r_q^2) h m b \omega, \quad (15)$$

Yatağın tam işlənilmə müddəti olacaq:

$$\Omega_1 = \pi(R_k^2 - R_1^2) \cdot h \cdot m \cdot b \cdot \omega, \quad (16)$$

$$T = \frac{\Omega}{Q_{q1} + Q_{qm}},$$

Yatağın tam işlənilmə müddətini azaltmaq məqsədilə, məhsuldar laya aşağıdakı istiliklə təsir üsullarından birini tətbiq etmək lazımdır:

1) layın intisar sahəsinin müxtəlif nöqtələrində yerləşmiş quyulardan qızmış su buxarının vurulması;

2) quyulardan laya isti suyun aqreqatla vurulması.

Şək.2-də, iki cərgəli dairəvi yatağın hidrodinamik və elektrik sxemləri təqdim edilmişdir.

Şəkildə aşağıdakı əlavə şərti işarələr qəbul edilmişdir:  $R_2$  - II çevrəvi quyular cərgəsindəki təzyiq,  $\rho_{13}$  - II çevrəvi quyular cərgəsi ilə mərkəzi quyunun drenaj zonası arasındakı həlqəvi sahənin xarici hidravlik müqaviməti,  $\rho_{i2}$  - II çevrəvi quyular cərgəsindəki bir quyunun drenaj zonasındakı daxili hidravlik müqavimət,  $Q_2$  - II çevrəvi quyular cərgəsinin gündəlik neft hasilatı.

Süzülmə nəzəriyyəsinin (yeraltı hidravlikanın) elektro-hidrodinamik analogiya qanununa əsasən, şək. 2-dəki sxemlərdən və Kirxhoff qanunundan istifadə edərək, aşağıdakı tənliklər sistemi tərtib edilmişdir:

$$\begin{cases} P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02} = \rho_{i1}(Q_1 + Q_2 + Q_{qm}) + \rho_{i1}Q_1 \\ P_2 - P_{qm} + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04} = \rho_{i2}Q_2 + (\rho_{13} + \rho_{im})Q_{qm} \\ P_1 - P_2 + \Delta P_{01} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04} = \rho_{i1}Q_1 + (Q_2 + Q_{qm})\rho_{i2} + Q_2\rho_{im} \end{cases} \quad (17)$$

Tənliklər sistemi (17)-ni həll edərək, çevrəvi quyular cərgələrinin gündəlik neft hasilatları  $Q_1$  və  $Q_2$ , həm də mərkəzi quyunun  $Q_{qm}$ , debiti üçün aşağıdakı düsturlarını çıxarıyıq:

$$\begin{aligned} Q_1 = & \frac{P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02}}{\rho_{i1} + \rho_{i1}} - \frac{P_2 - P_{qm} + \Delta P_{02} + \Delta P_{04}}{\rho_{i1}(\rho_{13} - \rho_{im})(\rho_{i1} + \rho_{i1})} + \\ & + \frac{P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02}}{\rho_{i1}(\rho_{13} + \rho_{im})(\rho_{i1} + \rho_{i1})} - \\ & - \frac{(P_k + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04})\rho_{i1}}{\rho_{i1}(\rho_{i1} + \rho_{i1})(\rho_{13} + \rho_{im})^2} \left( \rho_{i1} - \frac{\rho_{i2} \cdot \rho_{i1}}{\rho_{13} + \rho_{im}} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Düstur (18)-lə I çevrəvi hasiledici quyular cərgəsinin gündəlik neft hasilatı hesablanır.

$$Q_2 = \frac{P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02}}{\rho_{i1} - \frac{\rho_{i2} \cdot \rho_{i1}}{\rho_{13} + \rho_{im}}} - \frac{P_2 + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04}}{(\rho_{i1} + \rho_{im}) \left( \rho_{i1} - \frac{\rho_{i2} \cdot \rho_{i1}}{\rho_{13} + \rho_{im}} \right)} \quad (19)$$

Düstur (19)-la II çevrəvi hasiledici quyular cərgəsinin gündəlik neft hasilatı təyin edilir.

$$\begin{aligned} Q_{qm} = & \frac{P_2 - P_{qm} + \Delta P_{02} - \Delta P_{04}}{\rho_{13} + \rho_{im}} - \\ & - \frac{(P_k - P_{q1} - \Delta P_{01} - \Delta P_{02})\rho_{i2}}{(\rho_{13} + \rho_{im}) \left( \rho_{i1} - \frac{\rho_{i2} \cdot \rho_{i1}}{\rho_{13} + \rho_{im}} \right)} + \\ & + \frac{(P_2 + \Delta P_{02} - \Delta P_{03} - \Delta P_{04})\rho_{i1} \cdot \rho_{i2}}{(\rho_{13} + \rho_{im})^2 \left( \rho_{i1} - \frac{\rho_{i2} \cdot \rho_{i1}}{\rho_{13} + \rho_{im}} \right)} \end{aligned} \quad (20)$$

Düstur (20) ilə mərkəzi hasiledici quyunun neft debiti təyin edilir. Dairəvi yatağın müxtəlif zonalarında başlanğıc təzyiq düşkünləri aşağıdakı düsturlarla təyin edilir:

$$\Delta P_{01} = G(R_k - R_1), \quad (21)$$

$$\Delta P_{02} = G(R_1 - R_2), \quad (22)$$

$$\Delta P_{03} = G(R_2 - R'), \quad (23)$$

$$\Delta P_{04} = G(R' - r_{q1}), \quad (24)$$

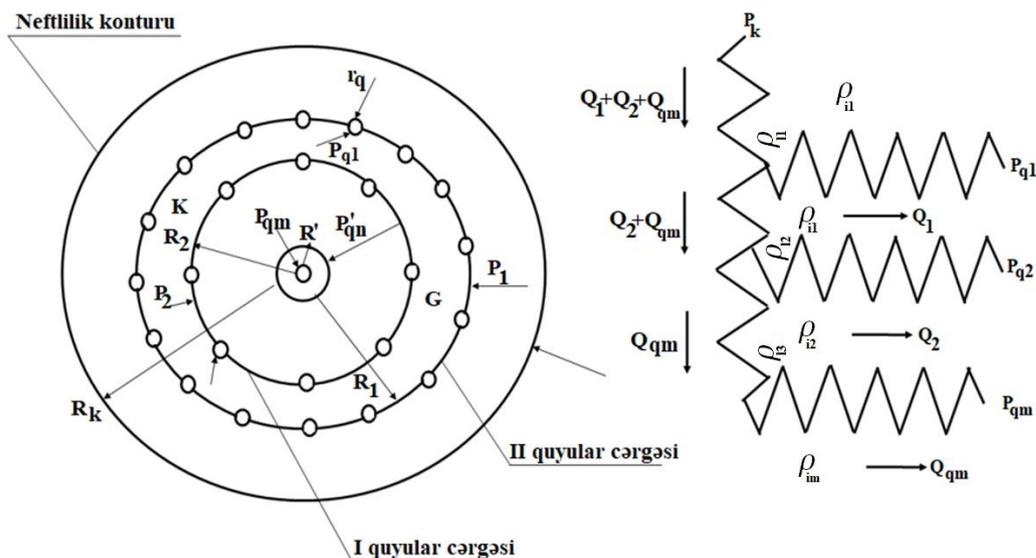
$$\Delta P_{05} = G(R' - r_{q2}), \quad (25)$$

$$\Delta P_{06} = G(R' - r_{qm}), \quad (26)$$

İndi verilmiş iki quyular cərgələri olan dairəvi neft yatağının tam işlənilmə müddətini tapmaq olar, çünki bunun üçün lazım olan düsturlar çıxarılmışdır. Bu məsələ həcm üsulu ilə həll edilir. Əvvəlcə, yatağın tam çıxarıla bilən neft ehtiyatının həcmi lay şəraitində təyin etmək lazımdır. Bu həcm aşağıdakı dörd hissədən ibarətdir:

1) neftlilik konturu ilə birinci çevrəvi quyular cərgəsi arasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_1 = \pi(R_k^2 - R_1^2) \cdot hmb\omega, \quad (27)$$



Şəkil 2 – İki cərgəli yatağın hidrodinamik və elektrik sxemləri  
Figure 2 – Hydrodynamical and electric schemes of the two-row field

2) birinci və ikinci çevrəvi quyular cərgələri arasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_2 = \pi(R_1^2 - R_2^2) \cdot hmb \omega, \quad (28)$$

3) ikinci çevrəvi quyular cərgəsilə mərkəzi quyunun drenaj zonasının kontur arasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_3 = \pi(R_2^2 - R'^2) \cdot hmb \omega, \quad (29)$$

4) mərkəzi quyunun drenaj zonasında yerləşmiş həlqəvi hissə:

$$\Omega_4 = \pi(R'^2 - r_q^2) \cdot hmb \omega, \quad (30)$$

Yatağın tam çıxarıla bilən neft ehtiyatının həcmi:

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 + \Omega_4, \quad (31)$$

Yatağın tam işlənilmə müddəti olacaq:

$$\tau = \frac{\Omega}{Q_1 + Q_2 + Q_{qm}}, \quad (32)$$

Əgər məhsuldar laya istiliklə təsir üsulu tətbiq edilərsə, onda  $\Delta P_{01} = 0$ ,  $\Delta P_{02} = 0$ ,  $\Delta P_{03} = 0$ ,  $\Delta P_{04} = 0$ ,  $\Delta P_{05} = 0$  və  $\Delta P_{06} = 0$  olar. Beləliklə, yatağın tam işlənilmə müddəti maksimum ixtisar olacaqdır. Bu fakt dəniz neft yataqlarının işlənilməsi üçün daha çox

əhəmiyyət kəşf edir, çünki dəniz hidrotexniki qurğularının uzun ömürlüyü 25-30 ildir, neft yataqlarının tam işlənilmə müddətləri isə 200-300 ildir. Odur ki, müntəzəm sürətdə çox sayda təmir-bərpa işləri aparılır [8-11].

### Nəticə

Məqalədə dairəvi özlü-plastik neft yatağının çevrəvi istismar quyuları cərgələri ilə işlənilməsinin nəzəri hidrodinamik məsələlərinin həlli nəticələri təqdim edilmişdir. İki məsələ həll edilmişdir; I məsələdə dairəvi yataq bir çevrəvi hasiledici quyular cərgəsi və bir mərkəzi quyuyu vasitəsilə işlənilir; II məsələdə isə dairəvi yataq iki çevrəvi quyular cərgələri ilə və bir mərkəzi quyuyu vasitəsilə işlənilir.

Hər iki məsələdə baxılan yataqların geoloji-fiziki xassələri eynidirlər; bütün quyular eyni radiusludurlar, hər cərgədə ayrılıqda qonşu quyular arasındakı məsafələr (çevrə qövsələrinin uzunluqları) eynidirlər.

Quyuların hamısı layın açılma dərəcəsinə görə və açılma xarakterinə görə hidrodinamik tamamlanmışdırlar. Hər iki məsələni həll

edəndə, süzülmə nəzəriyyəsinin elektro-hidro-dinamik analogiya metoduna əsasən, hidrodinamik və elektrik sxemlərindən, Kirxhoff qanunundan və ekvivalent hidravlik müqavimətlər üsulundan istifadə edərək, tənliklər sistemi tərtib edilmişdir.

Bu sistemlərin həlli nəticəsində çevrəvi quyular cərgələrinin gündəlik neft hasilatları və mərkəzi quyunun neft debiti düsturları çıxarılmışdır. Hər iki məsələdə yatağın tam iş-

lənmə müddətləri təyin edilmişdir. Təklif edilmişdir ki, bu müddəti ixtisar etmək məqsədilə, məhsuldar laya istilik təsir etmək məqsədə uyğundur, yəni laya qızmış su buxarı, ya da isti su vurmaqla.

### **Maraqlar münaqişəsi**

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

### **REFERENCES**

1. **Səmədov T.Ə., Mustafayev S.D., Novruzova S.H.** Su basqısı lay rejimli zolaqvari özlü-plastik neft yataqlarının işlənməsi nəzəriyyəsinin bəzi məsələləri. EKO-Energetika elmi-texniki jurnal, №2, 2013. səh.47-54. (*in Azerbaijani*)
2. **Mustafayev N.S.** Neft yataqlarının işlənməsi nəzəriyyəsinin bəzi hidrodinamiki stasionar məsələləri. Fizika, riyaziyyat.Yer elmləri. "Bilgi" dərgisi №4(20). Bakı-2004. səh.28-34. (*in Azerbaijani*)
3. **Bağirov M.K., Mustafayev S.D., Qasimov A.M., Kazimov F.K.** Beşnöqtəli quyu düzülüşünə malik məhdud neft layına dair stasionar hidrodinamik məsələlər. Fizika, riyaziyyat.Yer elmləri. "Bilgi" dərgisi jurnalı №2, Bakı-2003, səh.81-88. (*in Azerbaijani*)
4. **Mustafayev S.D., Mustafayev N.S., Mustafayev V.S.** Dairəvi neft yataqlarının cərgəli sistemləri ilə işlənməsinin bəzi nəzəri məsələləri. Nəsrəddin Tusinin 800 illik yubileyinə həsr edilmiş Respublika konfransının materialları. 2-3 aprel, Bakı-2001, səh 569-570. (*in Azerbaijani*)
5. **Mustafaev S.D., Mustafaev N.S., Mustafaev V.S.** Nekotorye gidrodinamicheskie zadachi teorii razrabotki polosobraznyh neftjanyh zalezhej s vodonapornym rezhimom plasta. AGNA-80, «Surahanyneft» NGDU, Baku-2000, str.17-23. (*in Russian*)
6. **Yashchenko I.G., Polishchuk Y.M.** (2016) Classification of Poorly Recoverable Oils and Analysis of Quality Characteristics (Reviews) Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 52 (4), pp. 434-444, <https://doi.org/10.1007/S.10553-016-727-9>. (*in English*)
7. **Dadashzadeh M.A., Aliyev I.N.** Rheological properties of elastic-visco-plastic liquid, Nafta-Gaz., Poland, 2022, no. 11, pp. 801–804, DOI: 10.18668/NG.2022.11.03. (*in English*)
8. **Aliyev I.N.** Study of the bottomhole zone influence on a production well flow-rate. Oilfield engineering. 2023; 3(651):40–42.DOI:10.33285/0207-2351-2023-3(651)-40-42 (*in English*)
9. **Novruzova S.G., Fariz Ahmed, Gadashova E.V.** Causes and Analysis of Water Encroachment of Some Offshore Fields Products of Azerbaijan. Series of Geology and Technical Sciences. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Volume 3, Number 447 (2021), 106-111 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.71> UDC 266.276.3 (*in English*)
10. **Aliyev I.N.** Hydrodynamic Characteristics of One Dimensional Displacement of Oil by Liquid. Series of Geology and Technical Sciences. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Volume 1, Number 457. (2023), 45-55. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.258> (*in English*)
11. **Dadaşzadə X.İ., Novruzova S.H., Qədaşova E.V.** Hərəkətsiz zonanın xassələrinin istismar prosesində quyulara təsiri. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Cild 14, №1 (2022), 60-70 (. *in Azerbaijani*)

## **Humbness Conditions of Polymer Mixtures**

**V.J. Jafarov, M.A. Manafov, P.S. Alkhanov, S.M. Khalilova, M.C. Rajabova**

*Institute of Polymer Materials of Ministry of Science and Education (S. Vurgun str., 124, Sumgait city, AZ5004, Azerbaijan)*

**For correspondence:**

Jafarov Valeh / e-mail: valeh\_ani@mail.ru

**Abstract**

Explaining the importance of creating polymer blends. Easy PE-PP mix selected by comparative analysis of adopted systems determined to be more effective as a result of numbness and the possibility of purchasing new high-quality materials and areas of use was revealed.

**Keywords:** numbness, polymer mixtures, packaging, layer, adhesion, product.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_47\_51

**Received** 12.01.2023

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

**For citation:**

*Jafarov V.J., Manafov M.A., Alkhanov P.S., Khalilova S.M., Rajabova M.C.*

[Humbness Conditions of Polymer Mixtures]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 47-51 (in Azerbaijani)*

## **Polimer qarışıqların uyuşması şərtləri**

**V.C. Cəfərov, M.Ə. Mənəfov, P.Ş. Alxanov, S.M. Xəlilova, M.C. Rəcəbova**

*Elm və Təhsil Nazirliyinin Polimer Materialları İnstitutu (S.Vurğun küç. 124, Sumqayıt şəh., AZ5004, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Cəfərov Valeh / e-mail: valeh\_ani@ mail.ru

### **Xülasə**

Polimer qarışıqlarının yaradılmasının əhəmiyyətinin açıqlanması. Götürülmüş sistemlərin müqayisəli təhlili ilə seçilmiş PE-PP qarışığının asan uyuşması nəticəsində daha səmərəli olduğu təyin edilmiş və yeni keyfiyyətli materiallarının alınması, istifadə sahələrinin mümkünlüyü aşkar edilmişdir.

**Açar sözlər:** uyuşma, polimer qarışıqları, qablaşdırma, lay, adgeziya, məmüuat.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_47\_51

---

УДК 691.175

## **Условия совместимости полимерных смесей**

**В.Д. Джафаров, М.М. Манафов, П.Ш. Алханов, С.М. Халилова,  
М.С. Раджабова**

*Институт полимерных материалов Министерство науки и образования (ул. С. Вургун, 124, г. Сумгаит, AZ5004, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Джафаров Валех / e-mail: valeh\_ani@ mail.ru

### **Аннотация**

Путем сравнительного анализа подобрана более эффективная система совместимости смеси ПЭ-ПП и установлена возможность приобретения новых качественных материалов и областей применения.

**Ключевые слова:** совместимость, полимерные смеси, упаковка, слой, адгезия, сырье.

## **Giriş**

Polimer qarışıqları sisteminin əsas mahiyyəti təkcə qarışdırmaya maraq kimi yox, qarışıqdakı polimerlərin hər birinin öz əvvəlki xassəsi saxlanılmaqla yanaşı, yüksək fiziki-mexaniki göstəricilərə malik, yeni keyfiyyətli material almaq və kompozitdə iştirak edən polimerlər arasında əlaqələndirmək, uyğunlaşdırmaq məqsədi qarşıya qoyulur.

Polimerlərin qarışdırılması mürəkkəb fiziki-kimyəvi proses olmaqla kütlənin deformasiya hərəkəti nəticəsində intensiv istilik ayrılması müşahidə olunur.

Polimerlərin qarışdırılmasında məqsəd götürülən ilkin polimerə bir sıra məqsədyönlü əlavələrin daxil edilməsi ilə alınan materialın xassəsinin yüksəldilməsinə nail olmaqdır. Belə ki, ilkin polimer lazım olan kompleks xassəyə malik olmadığından istifadəsi əlverişli sayılmır, ona görə polimer qarışıqların müxtəlif komponentlərdən – stabilizatorlardan, dolduruculardan, appretlərdən, piqmentlərdən, vulkanlaşdırılabilən əlavələrdən və s. istifadə olunması məqsədə uyğun hesab edilir.

Texnoloji prosesdə qarışdırıcı kimi geniş yayılmış: Ekstruziya və təzyiq altında tökmə kimi qarışdırıcı üslablardan istifadə olunur.

## **İşin məqsədi**

Polimer qarışıqlar əsasında yüksək fiziki-mexaniki xassələrə malik kompozitlərin yaradılması ilə keyfiyyətli məmulatların alınması qarşıya məqsəd qoyulmuşdur.

Təqdim olunan məqalədə üç polimer sistemi götürülmüş hər üç sistemdə müxtəlif küt.% nisbətlərdə kompozisiyalar hazırlanmış və eyni küt.% nisbətlərdə nümunələr götürülərək fiziki-mexaniki göstəriciləri təyin və müqayisə edilmişdir.

Qarışdırıcı kimi vərdənədən istifadə olunmuşdur.

Qeyd olunan sistem vərdənədə qarışdırılaraq hər bir polimerin xassəsinə uyğun texnoloji işçi optimal şərait- temperatur, təzyiq və s. seçilir.

Vərdənədən və presdən sonra alınan lövhələr standartda uyğun forma bıçaqla kəsilir və kompozitlərin fiziki-mexaniki xassələri təyin edilir.

İstifadə olunan polimer qarışıqlarla xammalın miqdarına qənaət, istifadə olunan polimerlərin bir sıra xassələrinin aşağı səviyyədə olmasının yüksəldilməsi məqsədi ilə onların biri-birində uyuşması və Sinergik effektin əmələ gəlməsi müşahidə olunur.

Bununlada keyfiyyətli materialın alınmasına nail olunur. Yüksək fiziki-mexaniki göstəricilərə malik polimer kompozitlərin yaradılmasının bir yolu da iştirak edən polimer qarışıqların biri-birində uyuşması, başqa sözlə tam qablaşdırılması ilə Sinergik effektin əmələ gəlməsi əsas amil sayılır.

Sistemdə iştirak edən polimerlərin biri-birində uyuşması üçün onların təbiəti, quruluşu, mənşəyi, oxşarlığı vacib amil sayılır. Polimerlərin uyuşması-homogen kütlənin alınması ilə seçilmiş sistemlər əsasında (PE-PP), (PE:PVX) və (PE-PS) alınan kompozitlərin bir sıra fiziki-mexaniki xassələrinin tədqiqi təcrübə və nəzəri elmi maraq kəsb edir [1-6].

## **Problemin qoyuluşu**

Təqdim olunan tədqiqatda üç sistem: (PE-PP), (PE:PVX), (PE-PS) seçilərək işlənmişdir.

## **Problemin həlli**

Seçilmiş hər bir sistemin eyni küt. % nisbətlərində kompozitlərin xassələri öyrənilmiş və müqayisə edilmişdir.

### I sistem:

a) PE-PP=70:30 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=14,71\text{MPa}$

b) PE-PP=60:40 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=18,07\text{MPa}$

c) PE-PP=50:50 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=19,10\text{MPa}$

d) PE-PP=40:60 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=22,04\text{MPa}$

e) PE-PP=30:70 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=23,70\text{MPa}$

### II sistem:

a) PE-PVX=70:30 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=11,18\text{MPa}$

b) PE-PVX=60:40 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=11,87\text{MPa}$

c) PE-PVX=50:50 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=10,87\text{MPa}$

d) PE-PVX=40:60 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=10,67\text{MPa}$

e) PE-PVX=30:70 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=11,10\text{MPa}$

### III sistem:

a) PE-PS=70:30 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=8,88\text{MPa}$

b) PE-PS=60:40 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=7,56\text{MPa}$

c) PE-PS=50:50 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=7,80\text{MPa}$

d) PE-PS=40:60 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=5,12\text{MPa}$

e) PE-PS=30:70 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=6,40\text{MPa}$

Təqdim edilən üç sistemi müqayisəli təhlil edərək eyni küt% nisbətlərdə dartılmada möhkəmlik həddi, nisbi uzanma və ƏAG-nın qiymətləri öyrənilmiş və müqayisə edilmişdir.

PE-PP=30:70 küt. % möhkəmlik həddi  $\sigma=23,7\text{MPa}$

PE-PVX=30:70 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=11,1\text{MPa}$

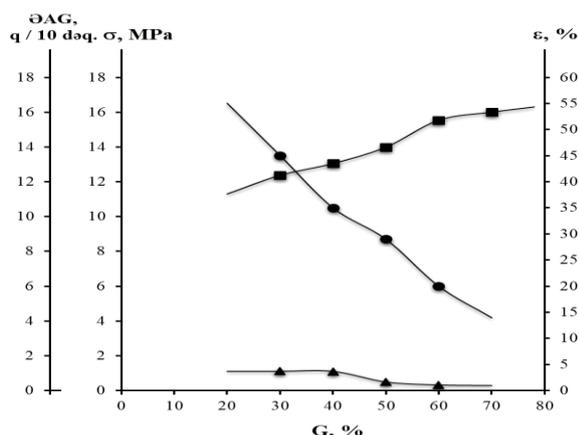
PE-PS=30:70 küt % möhkəmlik həddi  $\sigma=6,40\text{MPa}$  qiymət aldığı aşkar edilmişdir.

Göstərilən üç sistemdə dartılmada möhkəmlik həddinin qiymətinə görə (PE-PP) > (PE-PVX) > (PE-PS) asılılığı üzrə dəyişildiyi müəyyən edilmişdir.

Qeyd olunan üç kompozisiyanın I-ci sistemində eyni PE-PP=30:70 küt.% nisbətində  $\sigma=23,70\text{MPa}$ , II sistem PE:PVX=30:70 küt.% nisbətində  $\sigma=11,10\text{MPa}$ , III sistem PE:PS=30:70 nisbətində isə  $\sigma=6,40\text{MPa}$  qiymət alır. Təcrübi nəticələrdən belə qənaətə gəlmək olur ki, I-ci sistemdə PE-lə PP oxşar mənşəli olefinlər əsasında polimerlər olduğundan, PP-nin fiziki-mexaniki göstəriciləri daha yüksək qiymətə malik olduğundan və PP-nin kompozisiyada küt.% nisbəti PE-ə nisbətən çox olduğundan  $\sigma=23,70\text{MPa}$  qiymətə malik olur.

II sistemində PE:PVX=30:70 küt.%-nisbətində  $\sigma=11,70\text{MPa}$  olur. Burada iştirak edən xlor atomu səciyyəvi xüsusiyyət kəsb etdiyindən və digər komponentlərə nisbətən PE-PVX tam oxşar olmadığından uyuşma və qablaşdırma çətin və nisbətən məcburi olur, eləcə də homogen kütlə tam alınmadığından  $\sigma=11,1\text{MPa}$  qiymətə malik olur.

III sistemdə isə PE-PS qarışığında PS-aromatik quruluşa malik PE və PP-ə nisbətən mənşəli tam fərqli olduğundan başqa sözlə poliolen-poliaril qeyri oxşar sistemlər olduğundan homogen kütlə alınması məcburi və çətin əmələ gəlir. Belə ki, qeyri homogen kütlədə alınan laylı təbəqə yarandığından və adgeziya qüvvəsi az olduğu üçün  $\sigma=6,40\text{MPa}$  daha kiçik qiymət alır.



**Şəkil** - Uzatma və axın indeksinə görə doldurucuların miqdarından asılı olaraq polimerlərin gücündən asılılıq

**Figure** - Dependence on the strength of polymers depending on the amount of fillers in relation to elongation and flow index

Şəkildən görüldüyü kimi dartılmada möhkəmlilik həddinin qiyməti doldurucunun müəyyən (70-80 küt.%) həddədək coxaldıqda qiymət artır, sonra kövrəklik xassəsinin baş verməsi ilə qiymət azalır, nisbi uzanmanın qiyməti doldurucunun miqdarının coxalması ilə tərs mütənasib qiymət alır, ƏAG-nin qiyməti isə addətən doldurucunun qiyməti coxaldıqca ƏAG-nin qiyməti azalır.

məti isə addətən doldurucunun qiyməti coxaldıqca ƏAG-nin qiyməti azalır.

### Nəticə

Tədqiq edilmiş üç kompozitlərin müqayisəli təhlilinə əsasən PE-PP sistemi oxşar mənşəli olduğu üçün uyuşma tam əmələ gəldiyindən qeyd olunduğu kimi qırılma qüvvəsi daha yüksək qiymətə ( $\sigma=23,70$  MPa) malik olur. Təqdim olunan tədqiqat işində PE-PP sistemi tam uyuşma «Sinergik» effekt əmələ gəldiyindən daha münasib və əlverişli hesab olduğundan konstruksiya materiallarının hazırlanmasında istifadəsi təklif olunur.

Alınan kompozitin dartılmada möhkəmlilik həddi ( $\sigma$ ), nisbi uzanma ( $\epsilon$ ), ƏAG asılılıq əyrilləri şəkildə verilmişdir.

### Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

### REFERENCES

1. **Kablov V.F., Novopolceva O.M.** Smesi polimerov. Volgograd, GTU, 2018. 142 c. (in Russian)
2. **Cəfərov V.C., Bektaşi S.Ə., Xəlilova S.M., Babayeva G.R., Quliyeva G.N.** Xarici və sərt mühinə davamlı PK-ların yaradılması. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2019. №2 s. 77-82 (in Azerbaijani)
3. **Limanova N.M., Popova E.S., Ledieva O.A., Popov A.A.** Svoystva smesej polipropilen-polietilen nizkoj plotnosti i fazovaya struktura komponentov. *Vysokomolekulyarnye soedineniya, ceriya A*, 1998, tom 40, №1, s.51-57 (in Russian)
4. **Bogdanov V.V., Torner R.V., Krasovskij V.N., Reger S.E.** Smeshenie polimerov. *Himiya*, 1979-192 s. (in Russian)
5. **Cəfərov V.C., Bayramov D.N., Sharifov Q.S., Azadəliyeva G.N.** Polietilen Atkılapan construction kompozisiya materialları, XIV ulusal kimya konfresi, Türkiyə, Diyarbakir Desle Üniversitesi 2000, 10-15 Eylül, GK-57, s. 11 (in English)
6. **Cəfərov V.C., Rəcəbova M.C., Alxanov P.Ş, Mənəfov M.Ə, Musayeva G.H.** İstifadə olunmuş aşağı sıxlıqlı polietilenin utilləşdirilməsi ilə polimer kompozitlərin alınması. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, 2018, №4, səh.77-81 (in Azerbaijani)

## **Synthesis of Some Heterotic Cycle Azolidines**

**S.S. Gojayeva, N.M. Nazarov, S.S. Babayev, Z.T. İsrailova, S.T. Seyidova,  
N.M. Grigoryeva, J.J. Akhmedova**

*Institute of Chemistry of Additives named after AM Guliyev of ANAS (Beyukshor Highway, Ziya Buniyatov ave., 2062)*

### **For correspondence:**

İsrailova Zubeyda / e-mail: [mammadovazibeyda@gmail.com](mailto:mammadovazibeyda@gmail.com)

### **Abstract**

In this article 2-thio-4-oxothiazolidine, 2-thio-4-oxo-5-methylthiazolidine, thiozolidinone-2,4, 2-thiogidantone, which are highly reactive as a result of three-component condensed in the presence of various catalysts, provide ample opportunities for the synthesis of other nitrogenous heterocyclic compounds. Different thiozolidindions (tions) are synthesized. To assess the antioxidant properties of the synthesized compounds, the kinetics of their reactions with cumylperoxide radicals and cumylhydroperoxide are studied. The reaction of the studied compounds with cumyl peroxide radicals is studied on the basis of the oxidation of cumene by the reaction of the initiator AIBN at a concentration of  $2 \cdot 10^{-2}$  mol / l.

**Keywords:** thiourea, potassium hydrodanide, monochloroacetic acid, isopropyl alcohol.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_52\_59

**Accepted** 30.01.2023

**Received** 14.12.2023

**Revised** 20.12.2023

### **For citation:**

*Gojayeva S.S., Nazarov N.M., Babayev S.S., İsrailova Z.T., Seyidova S.T.,  
Grigoryeva N.M., Akhmedova J.J.*

[Synthesis of Some Heterotic Cycle Azolidines]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 52-59 (in Azerbaijani)*

## **Bəzi heterotsiklik azolidinlərin sintezi**

**S.S. Qocayeva, N.M. Nəzərov, S.S. Babayev, Z.T. İsrailova, S.T. Seyidova, N.M. Qriqoryeva, C.C. Əhmədova**

*AMEA Ə.M.Quliyev adına Aşqarlar Kimyası İnstitutu (Böyük Şor şossesi, Ziya Bünyatov pr., 2062)*

### **Yazışma üçün:**

İsrailova Zübeyda / e-mail: mammadovazibeyda@gmail.com

### **Xülasə**

Müxtəlif katalizatorların iştirakı ilə üçkomponentli kondensləşmə nəticəsində yüksək reaksiyaya qabil, digər azot və kükürd üzvlü heterosik birləşmələrin sintezi üçün geniş imkanlar yaradan 2-tio-4-okso-5-tiazolidin, 2-tio-4-okso-5-metiltiazolidin, tiozolidinon-2,4, 2-tioqidanon tipli müxtəlif tiozolidinon(tion) lar sintez olunmuşdur. Sintez edilmiş birləşmələrin antioksidləşdirici xassəsini qiymətləndirmək üçün onların kumilperoksid radikalları və kumilhidroperoksid ilə reaksiyalarının kinetikasi araşdırılmışdır. Sintez edilmiş birləşmələrin antioksidləşdirici xassəsini qiymətləndirmək üçün onların kumilperoksid radikalları və kumilhidroperoksid ilə reaksiyalarının kinetikasi araşdırılmışdır. Tədqiq olunan birləşmələrin kumilperoksid radikalları ilə reaksiyası kumolun inisiatorlaşmış AIBN-nin  $2 \cdot 10^{-2}$  mol/l qatılıqda reaksiyaya daxil edilməklə oksidləşməsinə əsasən öyrənilmişdir.

**Açar sözlər:** tiokarbamid, kalium rodanid, monoxlorosirkə turşusu, izopropil spirti.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_52\_59

УДК 547.436

## **Синтез некоторых азолидинов гетеротического цикла**

**С.С. Годжаева, Н.М. Назаров, С.С. Бабаев, З.Т. Исрафилова, С.Т. Сеидова, Н.М. Григорьева, Д.Д. Ахмедова**

*Институт химии присадок имени А.М. Гулиева НАНА (шоссе Бейукиор, пр. Зии Бунятова, 2062)*

### **Для переписки:**

Исрафилова Зубейда / e-mail: mammadovazibeyda@gmail.com

### **Аннотация**

В статье рассматриваются 2-тио-4-оксотиазолидин, 2-тио-4-оксо-5-метилтиазолидин, тиозолидинон-2,4, 2-тиогидантон, обладающие высокой реакционной способностью в результате трехкомпонентной конденсации в присутствии различных катализаторов, обеспечивающих широкие возможности для синтеза других азотистых гетероциклических соединений. Синтезированы различные тиозалидиндионы. Для оценки антиоксидантных свойств синтезированных соединений исследовали кинетику их реакций с кумилпероксидными радикалами и кумилгидропероксидом. Реакцию исследуемых соединений с радикалами пероксида кумола изучали на основе окисления кумола по реакции инициатора ДАК в концентрации  $2 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**Ключевые слова:** тиомочевина, гидроданид калия, монохлоруксусная кислота, изопропиловый спирт.

## Giriş

Tsiklik azolidinlər bifunksional birləşmələr olub, geniş spektrdə fizioloji xassə göstərdiklərinə görə farmakoloji tədqiqatlarda geniş tətbiq olunur [1]. Digər tərəfdən onlar radiasiya şüalarının qarşısını alan radioprotektor kimi istifadə edilir [2]. Tifen və aprofen kimi dərman maddələri amintiolların törəmələri kimi tibbi klinikada hazırda müvəffəqiyyətlə tətbiq olunmaqdadırlar [3]. Tərkibində azot heterotsiklik teroatom tərkibli heterotsiklik birləşmələr təbiətdə çox geniş yayılmış və canlı orqanizmlərdə xüsusi rol oynayır [4]. Onlar yüksək bioloji aktivliyə malik olub alkaloidlər, vitaminlər, fermentlər və nukleotid turşusu tərkibində iştirak edərək bioloji həyatın inkişafına kömək edir. Pirimidin əsası urasil, timin, sitozin, nukleotidlər, RNT, DNT tərkibində iştirak edir [5]. Tərkibində pirimidin fraqmenti iştirak edən metilurasil və pentoksil anabolik və antikatabolik aktivlik göstərir, eritro və leykopoezanın stimulyatoru rolunu oynayır. Pirimidin fraqmentində müxtəlif funksional qruplar və radikalın iştirakı onların müxtəlif təyinatlı dərman maddələri, bakterisid və virus infeksiya müalicəsində geniş istifadəsinə imkan verir [6-7]. Məlumdur ki, pirimidinlərdə keto-enol və tiol-tion tautomeriyası olan qruplar olduqda onların antimikrob xassələri daha güclənir. Bunları nəzərə alaraq funksional əvəzli yeni pirimidinlərin törəmələrinin sintezi və bunun üçün yeni metodların işlənilib hazırlanması çox aktualdır [8].

## İşin məqsədi

Məqalədə müxtəlif sinif antioksidantların sintezi və onların quruluşu ilə antioksidləşdirici effektivliyi arasında əlaqənin öyrənilməsi sahəsində aparılan tədqiqatları davam etdirərək, müxtəlif azolidin törəmələri sintez və vəzifələndirilməsinə etmişik. Katalizatorların iştirakı ilə

üçkomponentli kondensləşmə nəticəsində yüksək reaksiyaya qabil, digər azot və kükürd üzvlü heterosik birləşmələrin sintezi üçün geniş imkanlar yaradan 2-tio-4-oksotiazolidin, 2-tio-4-okso-5-metiltiazolidin, tiozolidinon-2,4, 2-tioqidanton tipli müxtəlif tiozolidinon(tion)lar sintez olunmuşdur. İşin məqsədi geniş spektrdə fizioloji fəallığa malik, antivirus, antibakterial, şiş əleyhinə, hipertoniya əleyhinə və digər dərman preparatları kimi tətbiq olunan azolidinlər sintez etməkdir. Bu nöqteyi nəzərdən xüsusən, azolidin törəmələrinin kimyəvi çevrilmə məhsullarının ətrafında elmi və praktik araşdırmaların davam etdirilməsi məqsəduyğundur.

## Eksperimental hissə

### • 2-tio-4-oksotiazolidin (I) sintezi

Termometr, damcı qığı ilə təchiz olunmuş üçboğazlı kolbaya 9.7 q (0.05 mol) kalium rodanid əlavə edilir və 50 ml metil spirtində həll edilir. Daha sonra 7.8 ml tioqlükol turşusu, 2.8 ml qatı sulfat turşusu əlavə edilir və əks soyuducu ilə təchiz olunmuş su hamamında 1 saat qızdırılır. Sulfat turşusunun çöküntüsü ayrılır. Vakkumda qovularaq soyuduqda kristallaşan yağ alınır. Sonra reaksiya məhsulu soyudulur. Çökən üçbucaq şəkilli kristallar süzülür və benzolda yenidən kristallaşdırılır. 3.8 q (I) birləşməsi alındı.

### • 2-tio-4-okso-5-metiltiazolidin (II) sintezi

Termometr, damcı qığı ilə təchiz olunmuş üçboğazlı kolbaya 9.7 q kalium rodanid əlavə edilir və 50 ml metil spirtində həll edilir. Daha sonra 7.2 ml tiösüd turşusu, 2.8 ml qatı sulfat turşusu əlavə edilir və əks soyuducu ilə təchiz olunmuş su hamamında 1.5 saat qızdırılır. Sulfat turşusunun çöküntüsü ayrılır. Vakkumda qovularaq soyuduqda kristallaşan yağ

alınır. Sonra reaksiya məhsulu soyudulur. Çökən ağ kristallar süzülür və benzolda yenidən kristallaşdırılır. 4.3 q (II) birləşməsi alındı.

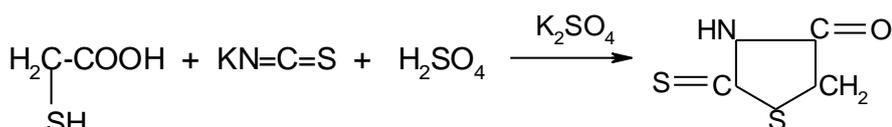
• *Tiozolidinon 2,4 (III) sintezi*

Termometr, damcı qıfı ilə təchiz olunmuş üçboğazlı kolbaya 15 q tiokarbamid əlavə edilir və 150 ml su əlavə edilir. Daha sonra 12.4 q monoxlorsirkə turşusu 10 ml suda həll edilərək 250 ml xlorid turşusu əlavə edilir və əks soyuducu ilə təchiz olunmuş su hamamında 3 saat qızdırılır. Xlorid turşusu ayrılır. Vakumda qovularaq soyuduqda kristallar alınır. Sonra reaksiya məhsulu soyudulur. Çökən ağ

kristallar süzülür və efiərdə yenidən kristallaşdırılır. 6.8 q (I) birləşməsi alındı.

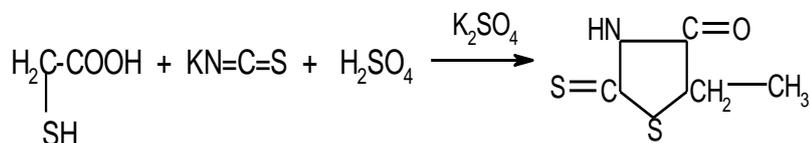
▪ *2-tioqidanton (IV) sintezi*

Termometr, damcı qıfı ilə təchiz olunmuş üçboğazlı kolbaya 20 q tiokarbamid əlavə edilir və 200 ml su əlavə edilir. Daha sonra 12.4 q monoxlorsirkə turşusu 10 ml suda həll edilərək əlavə edilir qum hamamında 80-90°C-də tiokarbamid yox olana qədər qızdırılır. Sonra kolba soyudulur və Mg. Alınmış məhlula 7 q Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> əlavə edilir. Alınmış 2-tioqidanton kristalı spirt və efiərlə yuyulur. Alınmış maddə 250°C-də parçalanır. 7 q (IV) açıq yaşıl rəngli kristallar birləşməsi alın.



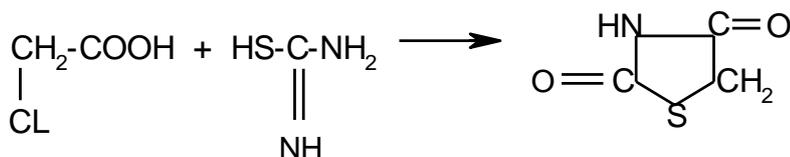
Azolidinlərin sintezi ilə onların antioksidləşdirici xassələri arasında əlaqənin müəyyənəndirilməsi sahəsində tədqiqatları davam etdirərək kalium rodanid, tioqlükol turşusu və qatı sulfat turşusunun birgə kondensləşməsi nəticəsində 2-tio-4-oksotiazolidin (I) sintezi sintez edilmişdir.

Kalium rodanidin metil spirtində həll edilmiş qarışığı tiosüd turşusu ilə qarışdırılır və qatı sulfat turşusu ilə 1.5 saat su hamamında qızdırılaraq sulfat turşusunun çöküntüsü ayrılır. Reaksiyanın gedişi nəticəsində 2-tio-4-okso-5-metiltiazolidin (II) kristalları alınır:



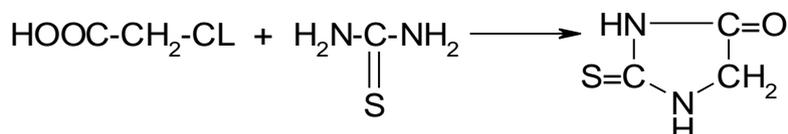
Tiokarbamid monoxlorsirkə turşusu ilə 250 ml xlorid turşusunda həll edilərək su hamamında 80-90°C-də tiokarbamid yox olana

qədər qızdırılır. Alınmış tiozolidin-2,4 kristalı spirt və efiərlə yuyulur. Ağ(III) rəngli kristallar alınır.



Tiokarbamid monoxlorsirkə turşusu ilə 10 ml suda həll edilərək qum hamamında 80-90°C-də tiokarbamid yox olana qədər qızdırılır. Alınmış məhlula Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> əlavə

edilir. Alınmış 2-tioqidanton kristalı spirt və efirə yuyulur. Açıq yaşıl rəngli kristallar (IV) alınır.



Reaksiyasının gedişin nazik təbəqəli xromatoqrafiya üsulu ilə tənzim edilmişdir.

Sintez edilmiş 2-tio-4-oksotiazolidin (I) birləşmələrin quruluşu İQ və <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C NMR spektroskopiyası ilə təsdiq edilmişdir. Təmizliyi isə nazik təbəqəli xromatoqrafiya ilə təyin edilmişdir.

Sintez olunan birləşmələrin (I-IV) fiziki-kimyəvi sabitləri və çıxımı cədvəldə verilmişdir.

Sintez edilmiş azolidin (I) İQ spektrində 1245, 1030 və 825 sm<sup>-1</sup>sahələrində müşahidə olan xarakterik zolaqlar oksiran halqasında olan asimmetrik, simmetrik və pulsasion rəqslərini xarakterizə edir. Lakin 665 sm<sup>-1</sup> sahəsində hal-

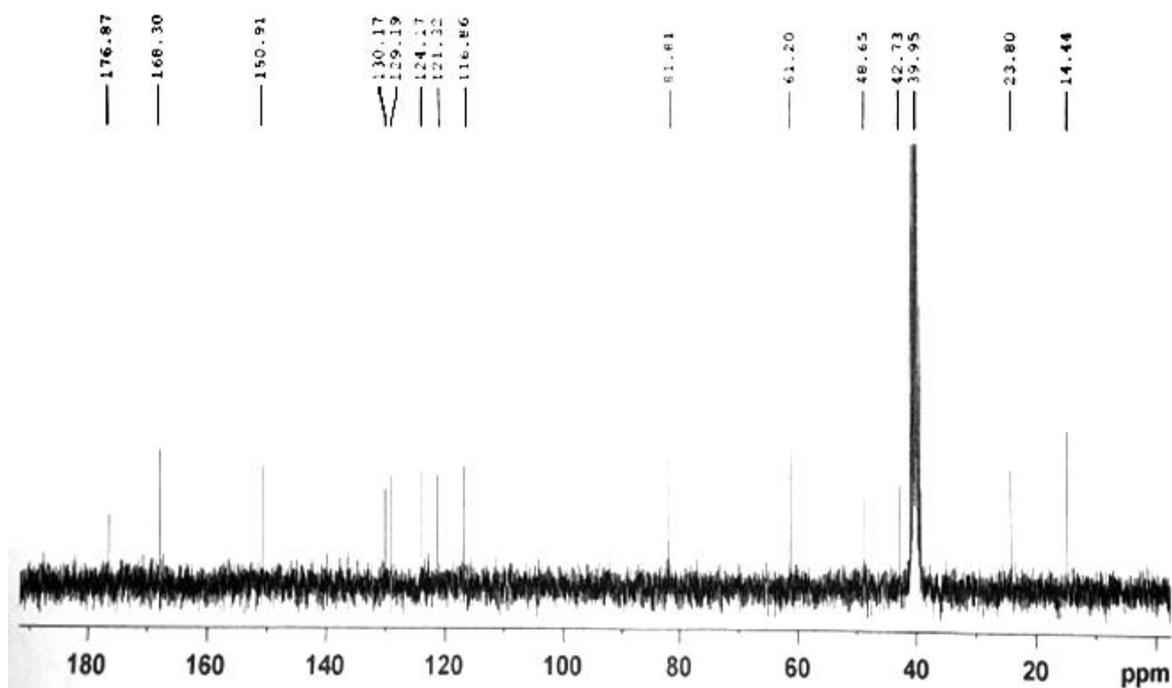
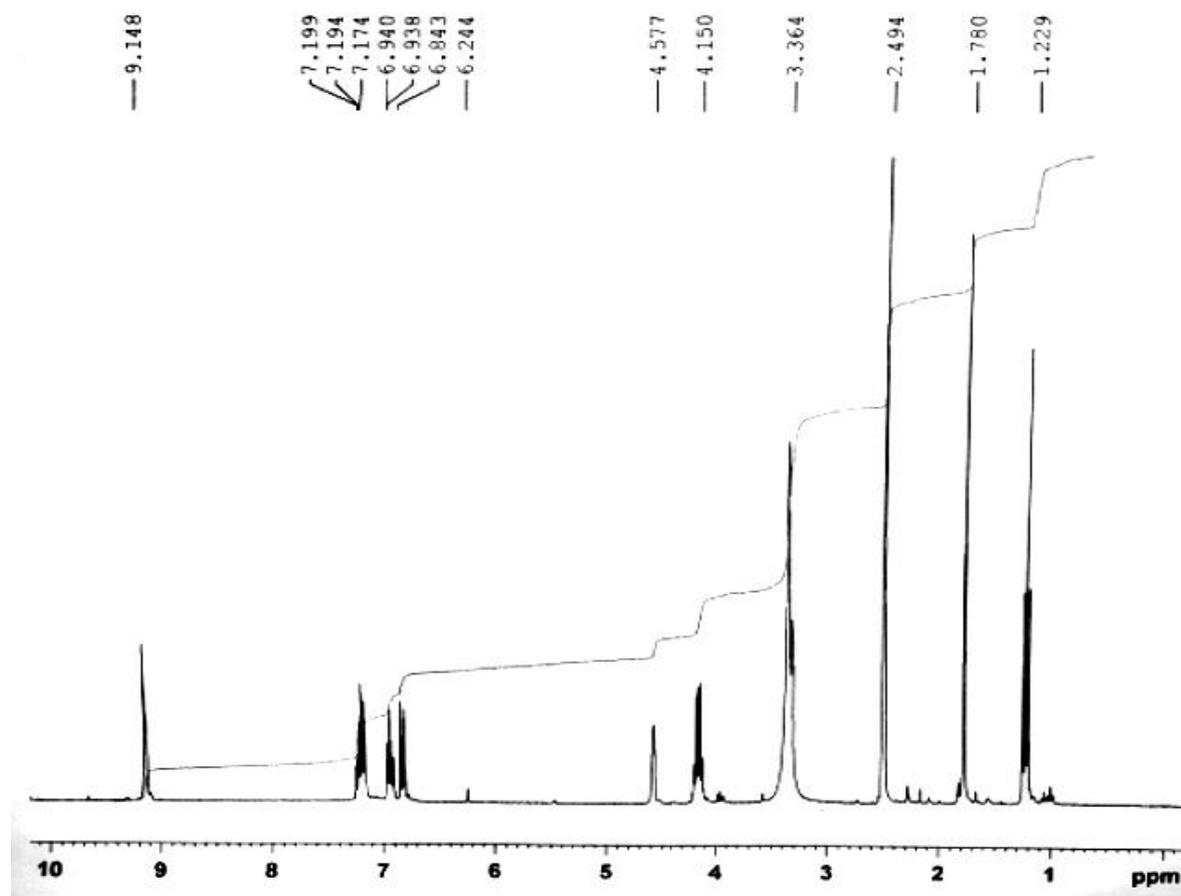
qada C-S rəqslərinin valent rəqslərini xarakterizə edən zolaq aydınlaşır.

Fraqmentdə olan CH<sub>2</sub>O qrupundakı iki protonun siqnalı dublet şəklində 2.40-2.45 və 2.70-2.75 m.h.sahələrində, CH-O- qrupundakı yeganə protonun siqnalı multiplet halında 2.80-3.45 m.h. sahəsində müşahidə edilir.(I) birləşməsinin <sup>1</sup>H NMR spektrini nəzərdən keçirdikdə görürük ki, CH<sub>2</sub>S qrupundakı iki protonun siqnalı CH<sub>2</sub>O qrupuna nisbətən qüvvətli sahədə 2.15-2.25 və 2.35-2.45 m.h. iki dublet şəklində aydınlaşır. CHS qrupunda olan protonun siqnalı isə 3.10-3.20 m.h. sahəsində multiplet şəklində müşahidə edilir.

### Cədvəl – Birləşmələrin fiziki-kimyəvi xassələri (I-IV)

**Table** – Physico-chemical properties of compounds (I-IV)

Birləşmələr №	Çıxım, %	T <sub>er</sub> , °C	Brutto formulu	Element analizi, %			
				Tapılıb Hesablandı			
				C	H	N	S
I	65	260	C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> NOS	67.67	6.25	12.06	11.48
				67.80	6.12	12.16	11.30
II	70	220	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> NOS <sub>2</sub>	66.84	6.62	9.67	12.04
				67.12	6.34	9.78	12.34
III	65	208	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> S	63.40	5.85	9.13	10.48
				63.55	6.00	9.26	10.60
IV	60	210	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> OS	61.21	6.47	12.54	9.59
				61.41	6.67	12.64	9.65



Şəkil 1 – 2-tio-4-oksotiazolidinin  $^1\text{H}$  NMR spektri  
Figure 1 – NMR  $^1\text{H}$  spectrum of 2-tio-4-oksotiazolidine (I)

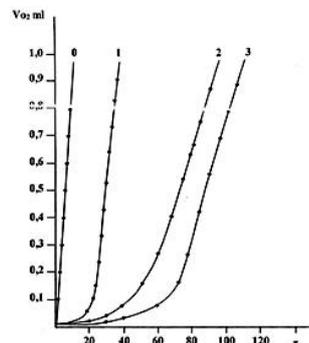
Sintez edilmiş birləşmələrdə molekulunda yerləşən pirimidin fraqmentində olan metil qrupundakı üç protonun siqnalı 1.2-1.4 m.h. sahəsində, asetil qrupundakı üç protonu isə sinqlet şəklində 2.5 m.h. sahəsində aydınlaşır. Aromatik halqaya birləşmiş metin qrupundakı yeganə protonun siqnalı 4.8 m.h. sahəsində sinqlet şəklində, pirimidin fraqmentinə birləşmiş aromatik halqadakı qeyri-simmetrik protonların siqnalı isə multiplet şəklində aşkar olunur. NH qrupundakı siqnal ən zəif sahədə 9.45 m.h. aydınlaşır.

$^{13}\text{C}$  NMR spektirində olan karbon atomlarının sıxlığını xarakterizə edən siqnallar 25, 29, 47, 53, 86, 117, 123,127, 132, 142, 151, 180, 208 m.h. sahələrində aşkar olunur.

Sintez edilmiş birləşmələrin antioksidləşdirici xassəsini qiymətləndirmək üçün onların kumilperoksid radikalları və kumilhidroperoksid ilə reaksiyalarının kinetikasi araşdırılmışdır.

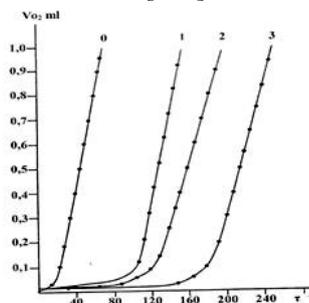
Tədqiq olunan birləşmələrin kumilperoksid radikalları ilə reaksiyası kumolun inisiatorlaşmış AIBN-nin  $2 \cdot 10^{-2}$  mol/l qatılıqda reaksiyaya daxil edilməklə oksidləşməsinə əsasən öyrənilmişdir.

Şəkil 2-də tədqiq olunan birləşmələrin iştirakı ilə kumolun inisiatorlu və inisiatorsuz oksidləşməsinin kinetik ayrılıqları verilmişdir. Göründüyü kimi bu inhibitorlar kumilperoksid radikalları ilə reaksiyaya girərək oksidləşmə prosesini tormozlayır. Tədqiq edilən birləşmələr əlavə edilmədikdə kumolun oksidləşməsi sabit sürətlə gedir və induksiya dövrü müşahidə olunmur. Lakin sintez edilmiş birləşmələri  $5 \cdot 10^{-5}$  mol/l reaksiya mühitinə daxil etdikdə oksigenin udulma sürəti azalır. Tədqiq olunan (I-III) birləşmələri kumilperoksid ilə qarşılıqlı reaksiyası termostatda yerləşdirilmiş şüşə reaktorda xlorbenzol məhlulunda aparılır.  $[\text{KHP}] = 0.38 \text{ mol / l}$ ,  $[\text{InH}] = 1.10^{-4} \text{ mol / l}$



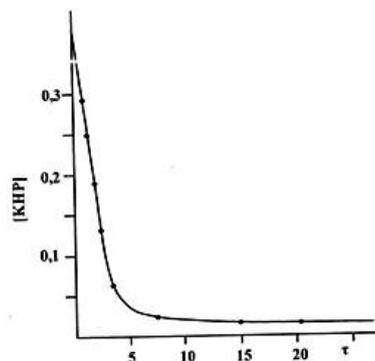
Şəkil 2 – Sintez edilən birləşmələrin (I-III) iştirakı ilə kumolun inisiatorlaşmış oksidləşməsinin kinetik ayrılıqları.  $V_{\text{O}_2}$ -oksigenin həcmi(ml),  $\tau$  vaxt (dəq),  $60^\circ\text{C}$ ;  $[\text{AIBN}] = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$ ,  $[\text{InH}] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ .

Figure 2 – Kinetic curves of initiated oxidation of cumol in the presence of synthesized compounds (I-III). Volume of  $\text{VO}_2$ -oxygen (ml),  $\tau$  time (min),  $60^\circ\text{C}$ ;  $[\text{AIBN}] = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol / l}$ ,  $[\text{InH}] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol / l}$



Şəkil 3 – Sintez edilən birləşmələrin (I-III) iştirakı ilə kumolun oksidləşməsinin kinetik ayrılıqları.  $V_{\text{O}_2}$ -oksigenin həcmi (ml),  $\tau$ -vaxt (dəq),  $110^\circ\text{C}$ ,  $[\text{InH}] = 510^{-5} \text{ mol/l}$

Figure 3 – Kinetic curves of cumol oxidation in the presence of synthesized compounds (I-III). Volume of  $\text{VO}_2$  oxygen (ml),  $\tau$ -time (min),  $110^\circ\text{C}$ ,  $[\text{InH}] = 510^{-5} \text{ mol / l}$



Şəkil 4 – Sintez edilən (I) birləşməsinin iştirakı ilə kumilhidroperoksidin parçalanmasının kinetik ayrılıqları.  $[\text{KHP}] = 0.38 \text{ mol/l}$ ,  $[\text{InH}] = 1.10^{-4} \text{ mol/l}$

Figure 4 – Kinetic curve of decomposition of cumylhydroperoxide in the presence of the synthesized compound (I).

Reaksiya mühitinə havanın daxil olmasının qarşısını almaq üçün mühitə vaxtaşırı azot qazı buraxılır. Tədqiq olunan inhibitorlar kumolun inisiatorlaşdırılmış oksidləşməsinə tormozlayır. Sintez edilən birləşmələrin bəzilərinin antioksidləşdirici xassələri model reaksiyalarda tədqiq edilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, tədqiq olunan birləşmələr həm kumilhidroperoksidi parçalamaq, həm də peroksid radikalları ilə əlaqədə olaraq oksidləşmə zəncirini qırmaq qabiliyyətinə malik olduqları üçün, onları kombinə təsiri göstərən inhibitorlar sinfinə daxil etmək olar.

#### Nəticə

Molekullarında azot atomları ilə yanaşı kükürd atomlarını birgə saxlayan sintez edilmiş 2-tio-4-oksotiazolidin, 2-tio-4-okso-5-me-

tiltiazolidin, tiozolidinon-2,4, 2-tioqidantonların karbohidrogenlərin oksidləşməsinin qarşısını alan aşqar kimi tədqiqi belə nəticəyə gəlməyə əsas verir ki, tədqiq olunan bu birləşmələr yüksək antioksidant təsirə malikdirlər. Onların oksidləşmə prosesinin inhibitorlaşmasının elementar reaksiyalarında iştirakının, yəni antioksidant təsir mexanizminin öyrənilməsi göstərmişdir ki, bu birləşmələrin hamısı peroksid radikallarını dəf etməklə oksidləşmə zəncirlərini qıraraq əmələ gələn hidroperoksidləri katalitik parçalayaraq yüksək antioksidləşdirici qabiliyyətə malikdirlər.

#### Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

#### REFERENCES

1. **Magerramov A.M., Allahverdiev M.A., Gusejnova A.T., Kuliev D.A.** Aminotioly i ih proizvodnye, Baku: *Iz-vo Bakinskogo universiteta*, 2017, 147 s. (in Azerbaijani)
2. **Cavadova L.A., Məhərrəmov A.M., Rzayeva İ.Ə., Fərzəliyev V.M., Allahverdiyev M.Ə.** 2,6-Dialkil (diaril) heksahidro-1,3,5-triazin-4-tionların sintezi və antioksidləşdirici xassəsi. *Kimya problemləri jurnalı*. 2015, №3, s.44 (in Azerbaijani)
3. **Chen J., Ling G., Lu S.** Synthesis of new unsymmetric N,N-dipyridylurea derivatives by selenium and selenium dioxide-catalyzed reductive carbonylation of substituted nitropyridines. *Tetrahedron*, 2013.V. 59, № 41p. 8251-8256.
4. **Məhərrəmov A.M., Qurbanova M.M., Zamanova A.V., Qarayeva S.Ə., Allahverdiyev M.Ə.** Bəzi tsiklik dihidroprimidinlərin sintezi və antioksidant xassələrinin öyrənilməsi. *Azərb. Kimya jurnalı*, 2012, №2, s.846 (in Azerbaijani)
5. **Allahverdiev M.A., Shamhalova S.A.** Sintez i izuchenieantiokislitel'nogo dejstviya 8-zameshchennyh 2,5-dioksitiofenola. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2014, t. 77. № 5. s. 787 (in Azerbaijani)
6. **Chiarotto Isabella, Feroci Marta.** Selective and environmentally friendly methodologies based on the use of electrochemistry for fine Chemical preparation. *Org. Chem.* 2013.V. 68, №18, pp. 7137-7139.
7. **Gabriele Bartolo, Salemo Giuseppe, Mancuso Rafaella, Costa Mirco.** Efficient synthesis of ureas by direct palladium-catalyzed oxidative carbonylation of amines. *Org. Chem.* 2014. v.69, № 14, pp. 4741-4750.
8. **Israfilova Z.T.** Study of some Heterocyclic Compounds Containing Rhodanide Group as Antioxidant Additives. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, Baku, Vol. 14. № 4. 2022. Pp. 83-91 (in Azerbaijani)

## **Investigation of the Effect of the Solution Diesel-Alkaline Waste in Water on the Process of Capillary Impregnation**

**H.G. Hacıyev<sup>1</sup>, N.A. Valiyev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Research Institute Geotechnological problems of oil, gas and chemistry (D. Aliyeva 126, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

<sup>2</sup>*State Oil Company of the Republic of Azerbaijan, SOCAR (H. Zardabi, 88A, Baku, AZ1122, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Hacıyev Hacıyan / e-mail: hacan.hacisoy@gmail.com

### **Abstract**

The article studies of the effect of diesel-alkaline waste in water on the process of capillary impregnation. In this regard, a number of experiments are carried out in laboratory conditions on a special installation. Inside the installation, the effect of capillary forces on the capillary impregnation process is investigated by creating a porous medium from various fractions of sand and clay. It is established that a one percent solution of DCO in water retains its surface-active property and it is advisable to use it in capillary impregnation processes. It is also shown that the proposed solution, acting on the swelling of clay, reduces it and sufficiently increases the compression ratio of oil.

**Keywords:** porous medium, permeability, compression ratio, layer, capillary pressure, experimental setup.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_60\_69

**Received** 10.02.2023

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Hacıyev H.G., Valiyev N.A.*

[Investigation of the Effect of the Solution Diesel-Alkaline Waste in Water on the Process of Capillary Impregnation]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 60-69 (in Azerbaijani)*

## Dizel-qələvi tullantısının suda məhlulunun kapilyar hopma prosesinə təsirinin tədqiqi

H.Q. Hacıyev<sup>1</sup>, N.A. Vəliyev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>“Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya” ETİ (D. Əliyeva, 127, Bakı, AZ 1010, Azərbaycan)

<sup>2</sup>Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti, SOCAR (Neftçilər pr. 73, Bakı, AZ 1000, Azərbaycan)

### Yazışma üçün:

Hacıyev Hacan / e-mail: hacan.hacisoy@gmail.com

### Xülasə

Məqalə dizel-qələvi tullantısının kapilyar hopma prosesinə təsirinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Bununla əlaqədar, laboratoriya şəraitində, xüsusi qurğuda bir sıra eksperimentlər aparılmışdır. Qurğunun daxilində müxtəlif qum və gil fraksiyalarından məsaməli mühit yaradılaraq kapilyar qüvvələrin hopma prosesinə təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, DQT-nin suda bir faizli məhlulu səthi-fəal xassəsini özündə saxlayır və onun hopma proseslərində tətbiqi məqsədəuyğundur. Həmçinin, göstərilmişdir ki, təklif edilən məhlul gilin şişməsinə təsir edərək onu azaldır və neftin sıxışdırılma əmsalını kifayət qədər artırır.

**Açar sözlər:** məsaməli mühit, keçiricilik, sıxışdırma əmsalı, lay, kapilyar təzyiq, eksperimental qurğu.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_60\_69

УДК 622.276

## Исследование влияния раствора дизельно-щелочного отхода в воде на процесс капиллярной пропитки

Г.К. Гаджиев<sup>1</sup>, Н.А. Велиев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия» (ул. Д. Алиева, 127, Баку, 1010, Азербайджан)

<sup>2</sup>Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской Республики, SOCAR (пр. Нефтяников, 73, Баку AZ 1000, Азербайджан)

### Для переписки:

Гаджиев Гаджан / e-mail: hacan.hacisoy@gmail.com

### Аннотация

В статье исследуется влияние дизельно-щелочного отхода (ДЩО) в воде на процесс капиллярной пропитки. В лабораторных условиях на специальной установке был проведен ряд экспериментов. Было исследовано влияние капиллярных сил на процесс капиллярной пропитки путем создания внутри установки пористой среды из различных фракций песка и глины. Установлено, что однопроцентный раствор ДЩО в воде сохраняет свое поверхностно-активное свойство и целесообразно его применение в процессах капиллярной пропитки. Также было показано, что предлагаемый раствор, воздействуя на набухание глины, уменьшает ее и в достаточной мере увеличивает коэффициент сжатия нефти.

**Ключевые слова:** пористая среда, проницаемость, коэффициент сжатия, пласт, капиллярное давление, экспериментальная установка.

## **Giriş**

Məlumdur ki, neftli məhsuldar laylar çox kiçik ölçülərə malik külli miqdarda məsamə və kanallardan ibarətdir. Belə məsaməli kanallarda neft və su fazaları sərhəddində meniskdə qiyməti müəyyən hədd arasında dəyişən kapilyar təzyiq yaranır və inkişaf edir.

Kapilyar təzyiqlərin belə kiçik qiymətləri yataqların işlənməsi zamanı xarici təsirlər vasitəsilə yaradılan təzyiqlər fərqi ilə müqaisədə çox az görünə bilər. Lakin təcrübə göstərir ki, bu kapilyar hadisələr iki maye mühitin sərhəddində baş verən səthi gərilmə ilə əlaqədardır və belə hallarda maye səthinin ayrılığını nəticəsində səthi gərilmə qüvvəsinin səthə toxunan istiqamətdəki toplanan hesabına kapilyar təzyiq yaranır ki, onun da islatma və hopma proseslərinə təsiri kifayət qədərdir [1].

Lay şəraitində bu daxili kapilyar qüvvələr çox məhdud həcmli sahədə su-neft ayrıcında lokallaşmışdır və onların qradiyentləri xarici təsir vasitəsilə yaradılan qradiyentlərdən xeyli yüksək ola bilər. Bununla da layda neftin su ilə sıxışdırılmasında kapilyar qüvvələrin təsirinin böyük olduğu təsdiqlənir. Göründüyü kimi, sanki bu daxili qüvvələr layda iki qarışmayan mayenin süzülmə prosesini nəzarətdə saxlayır və layın bütün sulaşma göstəricilərinin cari və son qiymətlərini müəyyən edir. Ona görə də sulaşma və məhsuldar layların neftveriminin yüksəldilməsi proseslərində kapilyar hadisələrin rolunu aydınlaşdırmadan neft yataqlarının işlənməsinin səmərəliliyinin artırılması və tətbiq edilən texnologiyaların təkmilləşdirilməsini əsaslandırmaq düzgün deyildir.

Lay şəraitində və məsaməli mühitdə hopma zamanı qarışmayan mayələrin süzülmə proseslərində kapilyar qüvvələrin təsirinin vacib rolu haqqında bir çox müəlliflərin işləri məlumdur [2-6]. Bu müəlliflərin gəldiyi ümu-

mi qənaət ondan ibarətdir ki, laylardan nefti sıxışdırarkən həyata keçirilən sulaşma prosesi zamanı yüksək nəticənin əldə edilməməsinin başlıca səbəbi sıxışdırılan və sıxışdırılan mayələrin bir-birinə qarışmamasıdır. Bunun da nəticəsində bu mayələr arasında ayırıcı səth yaranır və burada məlum kapilyar hadisələr baş verir.

Aparılan çoxsaylı tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, laylarda baş verən mikrohadisələri nəzərə almadan neftvermə məsələlərini öyrənmək səhv nəticələrin alınmasına gətirib çıxarır. Həmçinin, layların sulaşması zamanı kapilyar proseslər baş verən mühitin strukturunun və xarakteristikasının öyrənilməsi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Kapilyar hopma prosesi və ümumiyyətlə az isladan maye ilə çox isladan mayenin sıxışdırılması – bu proses ayrı-ayrı məsaməli kanallarda menisklərin birləşmiş şəkildə hərəkətini əks etdirir. Buna görə də məsaməli mühitin mikrostrukturunu düzgün təsvir etmədən kapilyar proseslərin rolunu aydınlaşdırmaq xeyli çətindir.

Eyni zamanda, qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda göstərilən işlərdə kapilyar hadisələr baş verən məsaməli mühiti təşkil edən qranelometrik tərkibin kapilyar hadisələrlə bağlı proseslərə təsirinə çox az diqqət yetirilmişdir.

## **İşin məqsədi**

Laboratoriya şəraitində aparılan eksperimental tədqiqatlar nəticəsində dizel-qələvi tullantısının (DQT) suda məhlulunun kapilyar hopma prosesinə təsirinin öyrənilməsidir.

## **Məsələnin qoyuluşu**

Kapilyar hadisələrin hopma proseslərinə təsirini öyrənmək məqsədilə bir sıra geniş miqyaslı eksperimental tədqiqat işləri aparıl-

mışdır. Yerinə yetirilən tədqiqat işlərinin ge-  
dişində iki istiqamətə xüsusi diqqət yetirilmiş-  
dir: birincisi – su+DQT qarışığının kapilyar  
hadisələrə təsiri öyrənilmiş, ikincisi – eksperi-  
mental tədqiqatlar xalis qumdan təşkil edilmiş  
məsaməli mühitlə yanaşı, paralel olaraq qum-  
gil qarışığından təşkil olunmuş məsaməli  
mühtdə də aparılmışdır.

### **Eksperimental qurğunun yaradılması və tədqiqatların aparılması**

Bunun üçün xüsusi, kifayət qədər sadə  
eksperimental qurğu hazırlanmış və onun dax-  
ilində müxtəlif fraksiyalardan təşkil olunmuş  
məsaməli mühit yaradılmışdır. Şəffaf pleksiqlas  
materialdan hazırlanmış eksperimental  
qurğunun şaquli kəsilişinin sxemi şəkil 1-də  
göstərilmişdir.

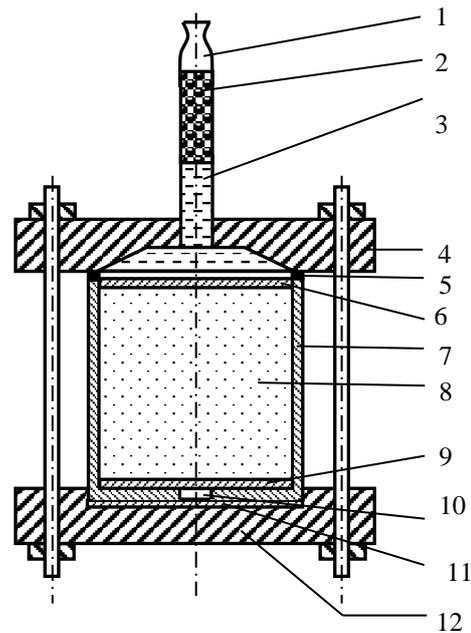
Eksperimental qurğu ölçü silindrindən  
(menzurkadan) 1, silindrik qabdan (nümünə-  
dən) 7, onun daxilində yerləşdirilmiş məsamə-  
li mühtdən 8, sistemdə hermetikliyi təmin et-  
mək üçün bir-birinə boltlar vasitəsilə kəp bağ-  
lanmış yuxarı 4 və aşağı 12 flənlərdən, yuxarı  
6 və aşağı 9 şəffaf şaybalardan, rezin kipləşdi-  
ricilərdən 5,11, həmçinin məsaməli mühtin  
keçiriciliyini təyin etmək üçün dəlikdən 10  
ibarətdir.

Eksperimentlərin aparılması üçün vacib  
şərtlərdən biri məsaməli mühtin hazırlanması  
və onun əsas parametrlərinin təyin edilməsidir.  
Bu məqsədlə, ümumən 8 ədəd məsaməli mü-  
hit nümunələri hazırlanmış, onların havaya və  
mayeyə görə keçiricilikləri, məsaməlilikləri  
və neftlədoyma kimi əsas parametrləri təyin  
edilmişdir.

Məsaməli müht nümunələrinin yarısı (4  
ədəd) təmiz kvars qumundan, qalan yarısı isə  
80% kvars qumu + 20 % gil qarışığından ha-  
zırlanmışdır. Eyni zamanda 4 ədəd xarici dia-

metri silindrik qabın daxili diametrinə uyğun,  
keçiriciliyi silindrik qabın daxilindəki məsa-  
məli mühtin keçiriciliyindən bir qədər kiçik,  
2-3 mm qalınlığa malik, tərkibi qum-gil mate-  
rialından ibarət dairəvi qapaq hazırlanaraq tət-  
biq edilmişdir. Bu qapaqlardan istifadə edil-  
məsi məsaməli mühtin daxilində, qapalı mü-  
hitdə gedən şişmə prosesinin eksperimentlərin  
nəticələrinə təsirinin öyrənilməsi məqsədi  
daşmışdır.

Eksperimentlərin yarısı qapaqsız, digər  
yarısı isə qapaq tətbiq etməklə aparılmışdır.  
Nümunələrin ölçülərək təyin edilmiş para-  
metrlərinin qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.



- 1 – ölçü silindri; 2 – neft; 3 – su;  
4 – yuxarı təbəqə flənsi;  
5 – rezin bərkidici; 6 – yuxarı şəffaf şayba;  
7 – silindrik qab; 8 – məsaməli müht;  
9 – aşağı şəffaf şayba; 10 – keçiriciliyi  
ölçmək üçün dəlik; 11 – rezin şayba;  
12 – aşağı təbəqə flənsi.

**Şəkil 1** – Eksperimental qurğunun şaquli kəsilişinin  
sxemi

**Figure 1** – The scheme of vertical cutting of the exper-  
imental installation

**Cədvəl 1** - Məsəməli mühitlərin əsas parametrlərinin göstəriciləri

**Table 1** - The indicators of the main parameters of porous media

Kvars qumu				
№	Havaya görə keçiricilik, $10^{-12} \text{ m}^2$	Mayeyə görə keçiricilik, $10^{-12} \text{ m}^2$	Məsəməlilik, %	Neftlə doyma, $\text{sm}^3$
1	2.56	1.91	39.5	30.6
2	2.70	1.90	39.1	31.1
3	2.65	1.88	38.5	31.5
4	2.68	1.82	39.0	30.6
80 % kvars qumu + 20 % gil				
5	0.94	0.89	39.1	32.8
6	0.98	0.87	38.1	32.5
7	1.09	0.95	42.8	31.9
8	1.02	0.94	41.9	32.2

Cədvəl 1-in məlumatlarından görünür ki, silindrik qabın və məsəməli mühiti təşkil edən kvars qumunun həcmələrinin eyni olmasına baxmayaraq təmiz kvars qumundan hazırlanmış nümunələrin mayeyə görə keçiriciliyi onların havaya görə keçiriciliyindən 25–30 % azdır, lakin məsəməlilik və neftlədoyma parametrləri demək olar ki, eynidir.

80% kvars qumu+20% gil qarışığından hazırlanmış nümunələrdə isə hava və mayeyə görə keçiriciliklər arasında demək olar ki, fərq yoxdur, bununla belə onların da məsəməlilik və neftlədoyma göstəriciləri dəyişməz qalır. Qeyd edək ki, təmiz kvars qumundan hazırlanmış nümunələrin havaya görə keçiricilikləri gil ilə qarışıq qumdan hazırlanmış nümunələrin havaya görə keçiriciliyindən iki dəfə çoxdur.

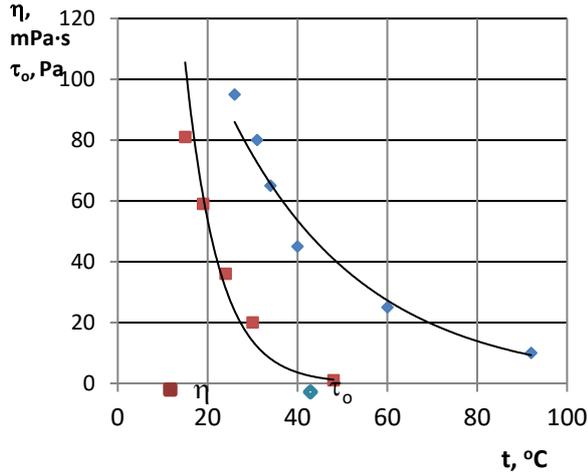
Silindrik qab 7 məsəməli mühitlə 8 birlikdə 4 və 12 flənləri arasında yerləşdirilir, sistemi kip saxlamaq məqsədilə flənlər boltla bir-birinə möhkəm bərkidilir, həm də yuxarı flənsə ölçü xətlərinə malik menzurka 1 birləşdirilir. Ölçü menzurkasına lazımı səviyyədə isladan maye (su və ya su+DQT qarışığı) tökülür və islatmayan maye (neft) ilə doydurulmuş məsəməli mühit arasında təmas yarandıqda əks istiqamətli kapilyar hopma prosesi başlayır. Beləliklə, su (su+DQT) isladan faza kimi, məsəməli mühitə sorulur, neft isə islatmayan faza kimi açıq səthdən çıxaraq menzurkada yığılmağa başlayır və zamandan asılı olaraq vaxtaşırı ölçülür.

Pleksiqlas materialından hazırlanmış şəffaf silindrik qab eksperimental tədqiqatların gedişini vizual (gözlə) izləməyə imkan verir. Əks istiqamətli kapilyar hopma üzrə aparılan eksperimentlər zamanı vizual müşahidələr göstərmişdir ki, qarşılıqlı istiqamətlərdə hər iki fazanın süzülməsi bütün kəsiliş boyu bərabər ölçüdə gedir və hər faza məsəməli kanallarda öz sistemi ilə hərəkət edir.

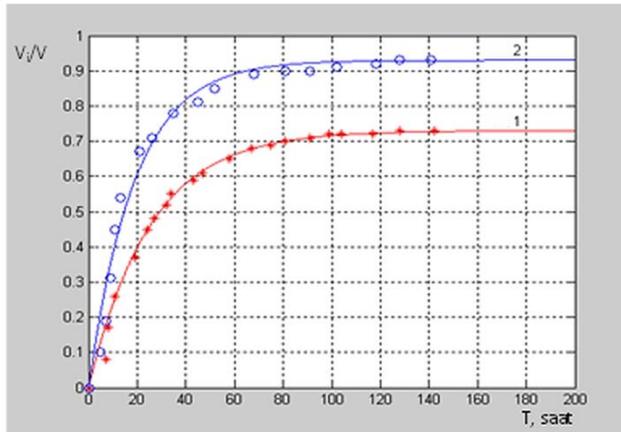
Eksperimentlər aparılarkən məsəməli mühiti doydurmaq üçün Paıçiq Pilpiləsi ya tağının xam rezervuar neftindən istifadə olunmuşdur. İlk öncə onun fiziki-kimyəvi və struktur xassələri tədqiq edilmişdir.

Şəkil 2-də istifadə olunan neftin qeyri-nyuton xarakteristikasını əks etdirən parametrlərin kapilyar viskozimetr vasitəsilə təyin edilmiş qiymətlərinin temperaturdan asılı olaraq dəyişmə dinamikası göstərilmişdir. Şəkil 2-dən görünür ki, temperaturun artması ilə neftin özlülüyü və başlanğıc sürüşmə gərginliyi intensiv azalır və bu azalma əyrixətli xarakter daşıyır. Həmçinin, 25-26 °C temperaturda bu parametrlərin qiymətlərindən ay-

dın olur ki, istifadə edilən neft göstərilən temperaturda qeyri-nyuton xarakterini saxlayır və bu qiymətlər müvafiq olaraq  $\eta=20.7$  mPa.s və  $\tau_0=82.4$  Pa təşkil edir. Qeyd edək ki, bütün sonrakı təcrübələr temperaturun məhz yuxarıda göstərilən qiymətində aparılmışdır.



Şəkil 2 – İstifadə olunan neftin reoloji xarakteristikasının temperaturdan asılılığı  
Figure 2 – The temperature dependence of the rheological characteristic of the oil used



1-su ilə sıxışdırma; 2-su+DQT qarışığı ilə sıxışdırma (Kvars qumu+20% gildən ibarət məsaməli mühit)

Şəkil 3 – Qapaq olmayan halda sıxışdırma əmsalının zamandan asılılığı

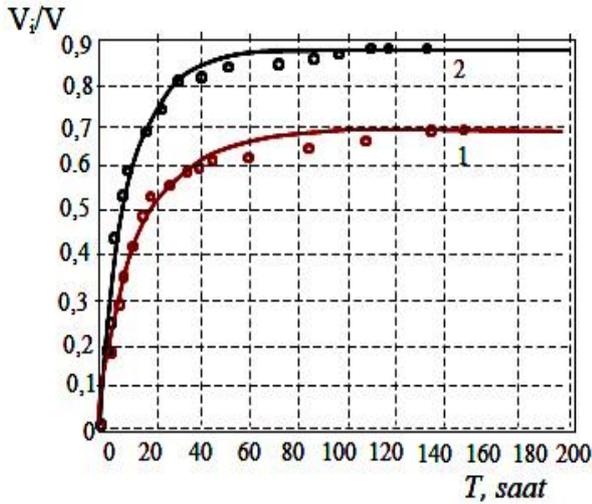
Figure 3 – Time dependence of the compression coefficient in the non-cap

İsladan faza mayesi kimi şirin sudan və DQT-nin suda məhlulundan istifadə edilmişdir. Suda DQT-nin konsentrasiyası 1% təşkil etmişdir [7].

Beləliklə, su+DQT qarışığının kapilyar hopma prosesinə təsirini qiymətləndirmək məqsədilə silsilə eksperimentlər aparılmışdır. Bu təcrübələr iki mərhələ üzrə yerinə yetirilmişdir.

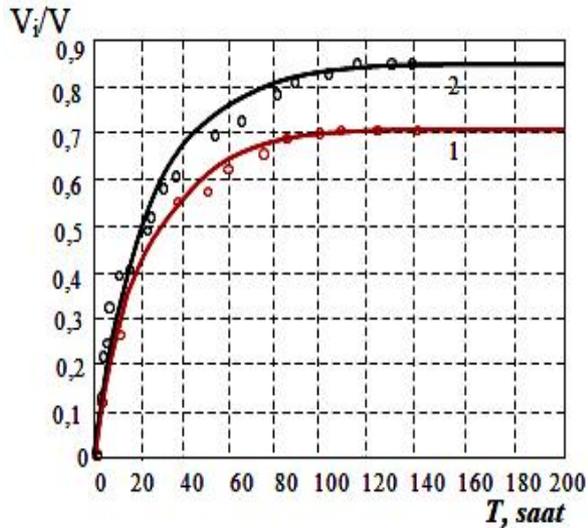
Birinci mərhələdə əvvəlcə ancaq xalis kvarts qumundan təşkil olunmuş məsaməli

mühitdə su+DQT qarışığının kapilyar hopma prosesinə təsiri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə neftlə doydurulmuş iki cüt məsaməli mühit nümunəsi hazırlanmış, eyni şəraitdə adi su və su+DQT qarışığı ilə əksaxınlı kapilyar hopma prosesinə baxılmışdır. Alınmış məlumatlar  $V_1/V$  nisbəti (burada:  $V_1$  – neftin ölçülmüş cari həcmi;  $V$  – isə məsaməli mühitdə doymuş neftin ümumi həcmidir) şəklində işlənmiş və onun zamandan asılılığı  $V_1/V = f(t)$  qurulmuşdur (şəkil 3).  $V_1/V$  – nisbəti faktiki olaraq tədqiqat aparılan məsaməli mühitin neftsıxışdırma əmsalıdır və kapilyar hopma prosesi zamanı su+DQT qarışığının tətbiqinin səmərəliliyinin müəyyən edilməsində mühüm rol oynayan əsas parametrdir. Sonra eksperimentlər 80% kvarts qumu+20% gildən təşkil olunmuş məsaməli mühitdə aparılmışdır. Alınmış nəticələr şəkil 4-də göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bütün bu seriyalarda təcrübələr silindrik qabın yuxarı hissəsində qapaq qoyulmamış şəraitdə yerinə yetirilmiş, belə ki, yuxarı hissə açıq saxlanılmaqla gil qarışığı olan məsaməli mühitdə gilin həm adi su, həm də su+DQT qarışığı ilə kontaktda olan zaman sərbəst şişməsinə şərait yaradılmışdır.



1-su ilə sıxışdırma; 2-su+DQT qarışığı ilə sıxışdırma  
(Kvars qumu+20% gildən ibarət məsaməli mühit)

**Şəkil 4** – Qapaq olmayan halda sıxışdırma əmsalının zamandan asılılığı  
**Figure 4** – Time dependence of the compression coefficient in the non-cap



1-su ilə sıxışdırma; 2-su+DQT qarışığı ilə sıxışdırma  
(Kvars qumundan ibarət məsaməli mühit)

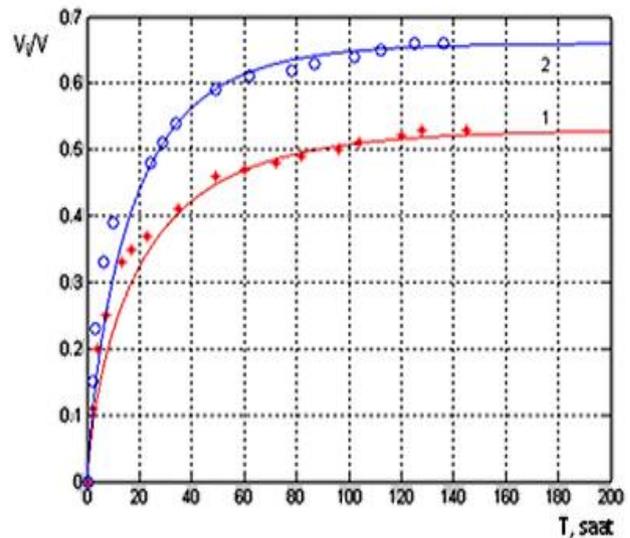
**Şəkil 5** – Qapaqla örtülmüş halda sıxışdırma əmsalının zamandan asılılığı  
**Figure 5** – The dependence of the compression coefficient on time while covered with a cap

İkinci seriya oxşar təcrübələr də xalis kvars qumundan və həmçinin, 20% gil qatılmış qumdan hazırlanmış məsaməli mühitdə aparılmışdır. Fərqləndirici cəhət

yalnız ondan ibarət olmuşdur ki, bu dəfə bütün hallarda məsaməli mühitin üst hissəsi qum materialından hazırlanmış məsaməli qapaqla örtülmüşdür.

Qapaq su ilə kontakt zamanı məsaməli mühitin həcmnin genişlənməsinə və səviyyəsinin qalxmasına, yəni sərbəst şişməsinə imkan verməmişdir, belə şəraitdə şişmə prosesi məsaməli mühitin daxilində baş vermişdir. Alınmış nəticələrə əsasən şəkil 5 və 6-da göstərilən asılılıqlar qurulmuşdur.

Göründüyü kimi, bütün hallarda (şəkil 3–6) su+DQT qarışığı kapilyar hopma şəraitinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır.



1-su ilə sıxışdırma; 2-su+DQT qarışığı ilə sıxışdırma  
(Kvars qumu+20% gildən ibarət məsaməli mühit)

**Şəkil 6** – Qapaqla örtülmüş halda sıxışdırma əmsalının zamandan asılılığı  
**Figure 6** - The dependence of the compression coefficient on time while covered with a cap

### Məlumatların emalı və müzakirəsi

Göstərilən qrafiklər ümumi şəkildə aşağıdakı tənliklə ifadə oluna bilər [8]:

$$y = a(1 - e^{-bx}) \quad (1)$$

Məlumatların [8]-də verilmiş metodika-ya əsasən işlənməsi nəticəsində  $a$  və  $b$  əmsallarının qiymətləri müəyyən edilmiş və cədvəl 2-də yerləşdirilmişdir.

**Cədvəl 2**-Sabit əmsalların və xətanın qiymətləri  
**Table 2**-Values of fixed coefficients and error

Sıra №	$a$	$b$	$\delta$
1	0.73	- 0.0394	0.0223
2	0.93	- 0.0526	0.0457
3	0.53	- 0.0667	0.0325
4	0.66	- 0.0769	0.0417
5	0.71	- 0.0625	0.0278
6	0.86	-0.0588	0.0460
7	0.69	- 0.0909	0.0208
8	0.84	- 0.1250	0.0356

Həmçinin, cədvəl 2-nin son sütununda verilən orta kvadratik xətanın  $\delta$  hesablanması aşağıda verilmiş (2) ifadəsi ilə həyata keçirilmişdir:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - y(x_i)]^2} \quad (2)$$

Aparılan bütün təcrübələr zamanı su+DQT qarışığının kapilyar hopma proseslərində tətbiq edilməsinin səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün cədvəl 3 tərtib edilmişdir.

Cədvəl 3-də verilən məlumatların təhlili göstərir ki, eksperimentlər üst araqatsız aparılan zaman, yəni məsaməli mühit sərbəst şişmə imkanına malik olduqda, su+DQT qarışığı ilə sıxışdırma xalis kvars qumundan hazırlanmış məsaməli mühitin neftveriminin 20%, tərkibində gil olan məsaməli mühitin neftveriminin isə 15% artmasına səbəb olmuşdur. Bununla yanaşı, səmərənin artımı uyğun olaraq 27 % və 22 % təşkil etmişdir.

Eksperimentlər [9] üst araqatın iştirakı ilə aparıldıqda isə, yəni şişmə məsaməli mühitin daxilində getdikdə, su+DQT qarışığının tətbiqi nəticəsində neftveriminin artımı xalis kvars qumundan və 20 % gil qatılmış qumdan hazırlanmış məsaməli mühitlər üçün uyğun olaraq 12% və 14% təşkil etmişdir. Bu halda səmərənin artımı – 17% və 26%-ə bərabər olmuşdur.

Göstərilən şəraitdə prosesin davam etmə müddətinin su+DQT qarışığının tətbiqinin səmərəliliyinə təsiri tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, kapilyar hopma prosesinin davam etmə müddətinin 140 saatdan 280 saata qədər uzanması nəticəsində qatqısız kvars qumundan təşkil olunmuş məsaməli mühitin neftverimi cəmi 2% artır, lakin gil qatılmış qumdan hazırlanmış məsaməli mühit üçün bu rəqəm 7% təşkil edir. Bununla yanaşı, səmərənin artımı uyğun olaraq 19% və 38% olur ki, bu da vaxt uzadıldıqdan sonra gil qatqılı məsaməli mühidə səmərənin 19% artması deməkdir.

Bu hadisə qapaq tətbiq etdikdə DQT-nin suda məhlulunun təsiri nəticəsində gil qarışığı məsaməli mühitin daxilində gedən şişmə prosesinin intensivliyinin azalması və müəyyən müddətdən sonra stabilləşməsi ilə izah edilə bilər.

Beləliklə, alınan nəticələr DQT-nin göstərilən konsentrasiyada suda məhlulunun quyularda əmələ gəlmiş qum tıxacının yuyulması üçün tətbiq edilməsinin mümkünlüyünü təsdiq edir.

Bu zaman qumun yuyulma prosesinin səmərəliliyinin artması ilə yanaşı, yuyucu məhlulun laya daxil olması quyunun mənim-sənilməsi və sonrakı normal iş rejimi üçün təsiri fəsad törətməyəcəkdir.

**Cədvəl 3** – Kapilyar hopma prosesi üzrə su və DQT-nin suda məhlulu ilə aparılmış eksperimentlərin nəticələri  
**Table 3** – Results of experiments on Capillary absorption with water and water solution of the NCO

Məsələli mühitin tərkibi	Qapaq olmayan halda sıxışdırma		Qapaqla örtülmüş halda sıxışdırma						
	Sıxışdırma prosesinin müddəti		140 saat		140 saat		280 saat		
	$V_i/V$	$\Delta V'$	$V_i/V$	$\Delta V'$	$V_i/V$	$\Delta V'$	$V_i/V$	$\Delta V'$	
Kvars qumu	Su	0.73	0.20	0.27	0.71	0.12	0.17	0.72	0.14
	Su + 1% DQT	0.93		0.83				0.86	
Kvars qumu + 20% gil	Su	0.69	0.15	0.22	0.53	0.14	0.26	0.55	0.21
	Su + 1% DQT	0.84			0.67			0.76	

$V$  – məsələli mühitdə doymuş mayenin ümumi başlanğıc həcmi;

$V_i$  – mayenin ölçülmüş cari həcmi;

$V_{su}$  – su ilə sıxışdırılmış həcm;

$V_{su+1\% DQT}$  – su+1% DQT qarışığı ilə sıxışdırılmış həcm;

$\Delta V' = V_{su+1\% DQT} - V_{su}$

## Nəticə

Dizel-qələvi tullantısının suda məhlulunun kapilyar hopma prosesinə təsiri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, DQT-nin suda bir faizlik məhlulu onun səthi-fəal xassəsini özündə saxlayır.

Xalis kvars qumundan və ona 20 % əlavə olunmuş gildən ibarət məsaməli mühitdə aparılan müqaisəli tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, hopma prosesi zamanı DQT-nin 1 %-lik məhlulunu tətbiq etməklə sıxışdırma əmsalını 15-20 % artırmaq mümkündür.

Eyni zamanda gilli məsaməli mühitdə şişmənin kapilyar hopma prosesinə təsiri öyrənilmişdir. Şişmənin sərbəst getməsi ilə yanaşı, onun məsaməli mühit daxilində getməsinə şərait yaradılması məqsədilə eksperimental qurğunun çıxışında qapaq tətbiq edilmiş və alınan nəticələrdən məlum olunmuşdur ki, belə şə-

raitdə DQT məhlulunun tətbiqi daha səmərəlidir.

Vaxtın təsirini öyrənmək üçün eksperimentlər başa çatdıqdan sonra proses sərbəst buraxılmış, 140 saatdan sonra isə ölçülər yenidən qeydə alınmışdır. Məlum olmuşdur ki, vaxtı iki dəfə uzatdıqda qapaqla örtülmüş halda hopma zamanı xalis qumdan hazırlanmış məsaməli mühitdə sıxışdırma əmsalının artımı cəmi 2% təşkil etmiş, ancaq gil qarışıq məsaməli mühitdə bu artım 7 %, səmərənin artımı isə müvafiq olaraq 2 % və 12% olmuşdur ki, bu da DQT məhlulunun gilin şişməsinə təsiri ilə əlaqədardır.

## Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

## REFERENCES

1. **Mirzəcanzadə, A.X., Əhmədov, Z.M., Qurbanov, R.S.** Neft layının fizikası, Bakı, 1983, 330 səh. (*in Azerbaijani*)
2. **Strekov A.S., Abutalıbova S.K.** İssledovaniye poverxnostno-aktivnix svoystv dizelno-şeloçnovo otxoda. Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, №2, Bakı, 2006. s. 25-29. (*in Russian*)
3. **Lətifov A.İ., Qasımlı A.M.** Qələvili tullantının şirin suda məhlulundan araqatı yaratmaqla layın neftveriminin artırılması (Balaxanı-Sabunçu-Ramana yatağı timsalında). Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, №4. Bakı, 2005, s. 3-6. (*in Azerbaijani*)
4. **İsmayılov Q.Q., Daşdiyeva N.C.** Neftçixarmada kapilyar proseslərin rolu və onlara səthi fəal maddələrin təsiri haqqında. Azərbaycan neft təsərrüfatı, № 5, Bakı, 2004. s.29-32. (*in Azerbaijani*)
5. **Musayev R.A., Kerimova F.Q.** Vliyaniye smaçivayuşey cposobnosti vitesnyayuşey jidkosti, temperaturı i qlinistosti sredi na pryamatoçnoye kapilyarnoye vitesneniye nefi. AMEA Xəbərləri, Yer Elmləri, №2. Bakı, 2004. s. 94-97. (*in Russian*)
6. **Musayev R.Ə., Əliyeva Ş.M., Cəfərli, S.Z.** Məsaməli mühit tərkibinin və suyun səthi fəallığının antipolyar mayelərin şaqulu kapilyar qalxma hündürlüyünə təsirinin tədqiqi AMEA-nın Xəbərləri. Yer Elmləri, №1. Bakı, 2013. s. 70-75. (*in Azerbaijani*)
7. **Ramzanova, E.E., Əliyev, Y.M., Hacıyev, H.Q. və b.** Həmcins olmayan kollektorlara malik layın neftveriminin artırılması üsulu. AZ Patent, İ 2015 0069. Dövlət reyestrində qeyd olunub: 16.10.2015.
8. **Yusifov S.İ., Səfərov R.S.** "Proseslərin analizi və identifikasiyası" fənnindən laboratoriya işləri (dərs vəsaiti). ADNSU-nun nəşri. Bakı, 2019, 107 səh. (*in Azerbaijani*)
9. **Guseinova E.A.** Theoretical Analysis of the Conversion of Isopropyl Alcohol // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. Vol.14, no.3. Pp. 80-86 (*in Russian*)

## **The Protection of Generator Stator Windings by Means of Subharmonic Current Method**

**E.N. Huseynov<sup>1</sup>, R.M. Abbasov<sup>2</sup>, F.H. Huseynov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

<sup>2</sup>*Azerbaijan National Aviation Academy (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

**For correspondence:**

Huseynov Farid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

**Abstract**

The article examines the subharmonic current method that protects the stator winding of the generator from ground faults. In the protection scheme based on the subharmonic current, the criteria of the subharmonic current angle ensure the high sensitivity of the relay protection. In modern microprocessor-based relay protection systems, more reliable and stable protection can be ensured by taking into account subharmonic currents.

**Keywords:** generator protection, stator winding, subharmonic currents, short circuits.

---

**DOI:** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_70\_76

**Received** 11.04.2023

**Revised** 13.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

**For citation:**

*Huseynov E.N., Abbasov R.M., Huseynov F.H.*

[The Protection of Generator Stator Windings by Means of Subharmonic Current Method]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 70-76 (in Azerbaijani)*

## Subharmonik cərəyanlar metodu vasitəsilə generatorun stator dolağının mühafizəsinin qurulması

E.N. Hüseynov<sup>1</sup>, R.M. Abbasov<sup>2</sup>, F.H. Hüseynov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

<sup>2</sup>Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

### Yazışma üçün:

Hüseynov Fərid / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

### Xülasə

Məqalədə generatorun stator dolağını yerlə qapanmalardan mühafizə edən subharmonik cərəyan metodundan bəhs edilir. Subharmonik cərəyan əsasında qurulmuş mühafizə sxemində subharmonik cərəyan bucağının meyarları rele mühafizəsinin yüksək həssaslığını təmin edir. Müasir mikroprosessorlu rele mühafizəsi sistemlərində subharmonik cərəyanların nəzərə alınmasıyla daha etibarlı və dayanıqlı mühafizəni təmin etmək olar.

**Açar sözlər:** generatorun mühafizəsi, stator dolağı, subharmonik cərəyanlar, qısa qapanmalar.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_70\_76

УДК 621.316

## Защита обмоток статора генератора методом субгармонических токов

E.N. Гусейнов<sup>1</sup>, Р.М. Аббасов<sup>2</sup>, Ф.Х. Гусейнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

<sup>2</sup>Азербайджанская Национальная авиационная академия (пр. Мардакян, 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

### Для переписки:

Гусейнов Фарид / e-mail: huseynovferid17525257@gmail.com

### Аннотация

В статье рассматривается метод субгармонических токов, защищающий обмотку статора генератора от замыканий на землю. В схеме защиты по субгармоническому току критерии угла субгармонического тока обеспечивают высокую чувствительность релейной защиты. В современных микропроцессорных системах релейной защиты более надежная и устойчивая защита может быть обеспечена за счет учета субгармонических токов.

**Ключевые слова:** защита генератора, обмотка статора, субгармонические токи, короткие замыкания.

## Giriş

Elektrik enerjisini istehsal edən stansiyalarda istismar olunan generatorlarda müxtəlif növ zədələnmələr və qeyri-normal rejimlər əmələ gələ bilər. Generatorun stator və rotor dolağlarında baş verə biləcək zədələnmələri aşağıdakı növlərə ayırmaq olar: generatorun stator dolağında fazalararası qısa qapanmalar; generatorun stator dolağının bir fazasında sarğılararası qapanması; neytralı torpaqlanmış generatorunda stator dolağının bir fazasının yerlə və ya gövdə ilə qapanması; generatorun rotor dolağının bir və iki nöqtədə yerlə qapanması. Generatorun qeyri-normal rejimlərinə isə aşağıdakılar aiddir: xarici qısa qapanmalar zamanı generatordan ifrat cərəyanın keçməsi; simmetrik və qeyri-simmetrik artıq yüklənmələr.

Qeyd edildiyi kimi, qısa qapanmanın baş verdiyi halda generator rele mühafizəsi və sistem avtomatıkası tərəfindən mümkün qədər tez şəbəkədən açılmalıdır. Qeyri-normal rejimlərin yaranması halında mühafizə qurğusu xəbərdar edici siqnala işləməlidir ki, texniki personal tərəfindən normal iş rejiminin bərpa olunması üçün lazımi tədbirlər görülsün [1, 3-5].

## Məsələnin qoyuluşu

Böyük güclü generatorların bir fazasının yerlə qapanması zədələnmənin inkişafına və maşının daha ağır zədələnməsinə səbəb olur. Ənənəvi sıfır ardıcılıqlı cərəyan mühafizələrinin çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, qısa qapanmanın neytrala yaxın nöqtəsində baş verdiyi halda qapanmış sarğıların sayı kiçik olur, bu da mühafizə tərəfindən əhatə olunmayan qeyri-həssas ("ölü") zonasının əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün subharmonik cərəyanlar metodundan istifadə olunur.

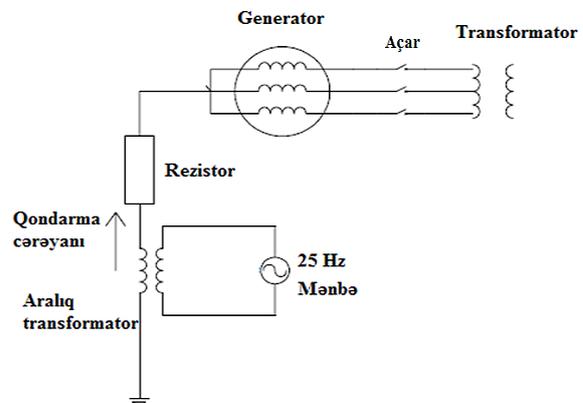
## Məsələnin həlli

Subharmonik gərginlik (adətən 25 Hs tezliyində) generatorun torpaqlama elementi (rezistor, paylayıcı transformator və ya reaktor) ilə yer arasındakı aralıq transformatoru vasitəsilə ötürülür. Mühafizənin iş prinsipi statorun yerlə qapanması zamanı ötürülən subharmonik cərəyanın ölçülməsinə əsaslanır. Qəza baş verən andan statorla yer arasında tam müqavimət dəyişdiyindən subharmonik mühafizə sxemi subharmonik cərəyanın bu dəyişməsinə aşkar edir, generatorun açılmasına siqnal verir.

Normal rejimdə ötürülən subharmonik cərəyan yerlə olan müqavimətlə (rezistor, reaktor və s) məhdudlaşdırılır. Bu halda stator dolağının induktivliyi kiçik olduğuna görə nəzərə alınmır.

Yerlə qısa qapanma baş verdikdə, qapanma müqaviməti ekvivalent tutum müqaviməti ilə paralel olaraq qoşulur. Beləliklə, subharmonik cərəyanın məhdudlaşdırıcı tam müqavimət azalır, bu da cərəyanın artmasına gətirib çıxarır. Beləliklə, sxemin iş prinsipi subharmonik cərəyanın bu dəyişmələrinə əsaslanır (şəkil 1).

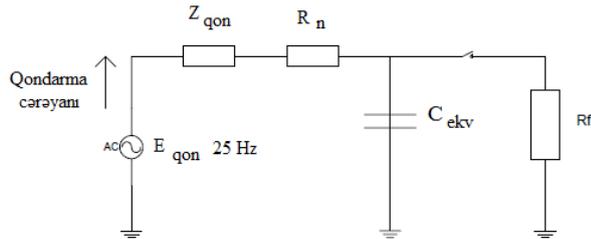
Subharmonik siqnalının tezliyi 25 Hs olduğuna görə statorun tutum müqavimətini artırır, bu da sxemin həssaslığının artırılmasına gətirib çıxarır.



Şəkil 1 – Subharmonik cərəyanlar metodu əsasında işləyən sxem

Figure 1 – The scheme works on the basis of the method of subharmonic currents

Neytralı effektiv torpaqlanması ilə işləyən generatoru torpaqlamaq üçün rezistordan istifadə olunur. Subharmonik gərginlik torpaqlama rezistoru ilə yer arasında yerləşən aralıq transformatoru vasitəsilə ötürülür. Ötürülən cərəyan transformatorun ikinci tərəf dolağında ölçülür [2-6].



Şəkil 2 – Sadələşdirilmiş ekvivalent sxemi  
Figure 2 – Simplified equivalent circuit

Aralıq transformatoru və ötürülmə dövrəsinin bütün elementləri (siqnal kontrollerləri, test dövrələri və s.) tam qondarma müqaviməti ilə əvəz olunacaqdır ( $Z_{qon} = R_{qon} + jX_{qon}$ ). Ona görə də 25 Hz tezlikli gərginlik mənbəyi ( $E_{qon}$ ) transformasiya əmsalından istifadə etməklə transformatorun generator tərəfinə keçirilir. Subharmonik mənbəyin daxili müqaviməti də həmçinin transformatorun generator tərəfinə keçəcək və tam qondarma müqavimətinə daxil ediləcək ( $Z_{qon}$ ). Şəkil 2-də generatorun və sistemin ekvivalent sxemi göstərilibdir. Burada  $C_{ekv} = 2.035 \text{ mkF}$  – sistemin ekviva-

lent tutumu;  $Z_{qon} = 36 + j125$  – tam qondarma müqaviməti;  $E'_{qon} = 56 \text{ V}$  – subharmonik qondarma EQ-si;  $R_n$  – neytralın aktiv müqaviməti;  $R_f$  – qısa qapanma müqaviməti.

Öncəliklə qəza olmadığı normal iş rejimində subharmonik cərəyana baxaq.

$$I = \frac{E_{qon}}{Z_{qon} + R_n + Z_{cekv}}$$

Ötürülmə dövrəsinin müqavimətinin, torpaqlama rezistoru və torpaqla cəm tutumun qiymətləri məlum olduqda qəza olmayan hal üçün cərəyanın qiymətini tapmaq mümkündür.

$$I_{norm} = 0.0088e^{j78^\circ}$$

Qəza olmayan halda yerlə tutum müqaviməti çox böyük olduğundan cərəyan çox kiçikdir. Bu böyük tutumun təsirindən həmin cərəyanın bucağı  $90^\circ$ -yə yaxındır. Yerlə qapanma baş verdikdə subharmonik cərəyanı məhdudlaşdıran müqavimət dəyişir. Nəticədə subharmonik cərəyan iki cərəyana bölünür: kondensatordan axan cərəyan və qəza müqavimətində axan cərəyana. 2-ci tənlik qəza prosesində cəm subharmonik cərəyanı ifadə edir.

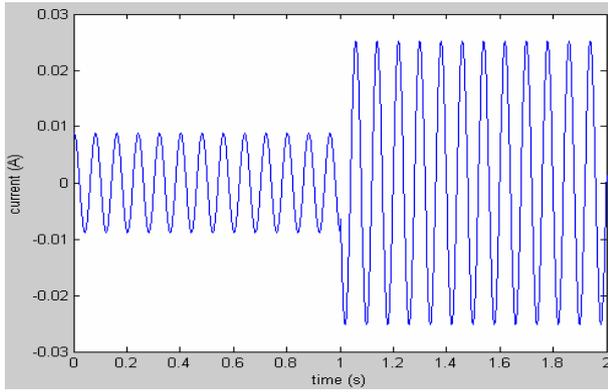
$$I_{qap} = I_c + I_{Rf} = \frac{E_{qon}}{Z_{qon} + R_n + \frac{Z_{cekv}R_f}{Z_{cekv} + R_f}}$$

Məlum olan qiymətləri yerinə qoyub hesablasaq:

$$I_{qap} = \frac{56}{1248 + \frac{39150049R_f}{R_f^2 + 39150049} + j \left( 26 - \frac{6257R_f^2}{R_f^2 - \frac{6257R_f^2}{R_f^2 = 39150049}} \right)}$$

Qəza cərəyanı qəza müqavimətindən asılıdır. Subharmonik cərəyanın qiymətlərini analiz etmək üçün MATLAB proqramından istifadə olunur.

Öncəliklə qısa qapanma müqaviməti  $R_f=1\text{kOm}$  olduğunu qəbul edək və subharmonik cərəyanda nə baş verdiyinə baxaq (şəkil 3).



**Şəkil 3** – Subharmonik cərəyanın dəyişməsi  
**Figure 3** – Subharmonic current variation

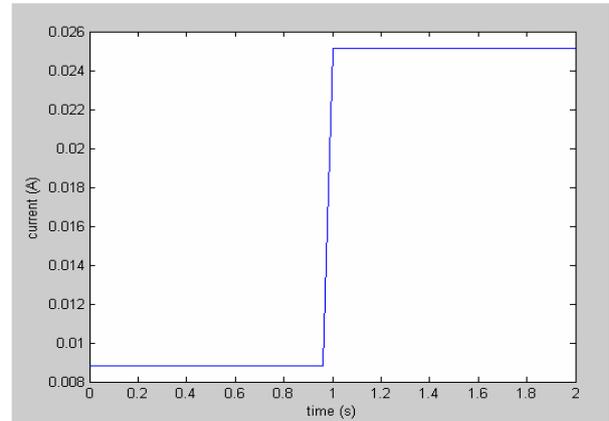
Birinci görə biləcəyimiz budur ki,  $t=1$  san-də subharmonik cərəyan qəflətən dəyişir. Birinci saniyə ərzində cərəyanın qiyməti 9 mA-ə yaxın olur, lakin  $t=1$  san-dən sonra cərəyanın qiyməti təxminən 25 mA-ə qədər artır. Göründüyü kimi, statorun yerlə qapanması baş verdikdə cərəyan öz qiymətini dəyişir. Üstəlik, əgər cərəyanın əyrisinə diqqətlə baxsaq görərik ki,  $t=1$  san ətrafında yerlə qapanma qəzası baş verdikdə cərəyanın həmçinin bucağı da dəyişir. Beləliklə, bütün bunlardan alınır ki, statorun yerlə qapanması baş verdikdə subharmonik cərəyan həm qiymət həm faza baxımından dəyişir (şəkil 4 və 5). Göründüyü kimi, qısa qapanma cərəyanı normal rejimdəki cərəyandan həmişə böyükdür (0-dan 12 kOm-a qədər).

Həmçinin bunu da görmək olur ki, qısa qapanma cərəyanının qiyməti qəza müqaviməti artdıqca azalır.  $R_f$  8 kOm-dan böyük olduqda qısa qapanma və normal rejimdəki cərəyanlar arasındakı fərq çox kiçikdir. Bir anlıq,  $R_f = 8$  kOm olduqda subharmonik cərəyan 9.7 mA olur, bu isə o deməkdir ki, qəza və qəza olmayan hallar arasındakı cərəyan fərqi cəmi 0.9 mA olur. Qəza cərəyanını qəza olmayan haldakı cərəyana bərabərləşdirən qəza aktiv

müqaviməti aşağıdakı tənlikdən istifadə etməklə tapıla bilər.

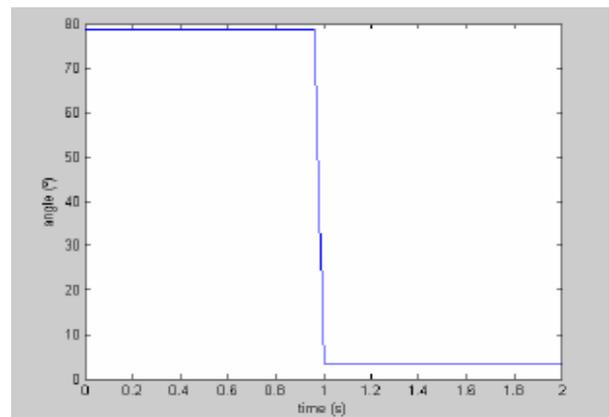
$$I_q = 0.0088 \text{ A} \rightarrow R_f = 15.9 \text{ kOm}$$

15.9 kOm-dan daha yüksək qəza müqavimətləri üçün qısa qapanma cərəyanının qiyməti qəza olmayan haldakı cərəyanın qiymətindən kiçikdir. Ona görə də yüksək müqavimətli qəzalar üçün başqa bir metod tapılmalıdır. Şəkil 7-də qısa qapanma müqaviməti 0-dan 12 kOm-a qədər dəyişdikdə cərəyanın bucağının dəyişməsi göstərilmişdir.



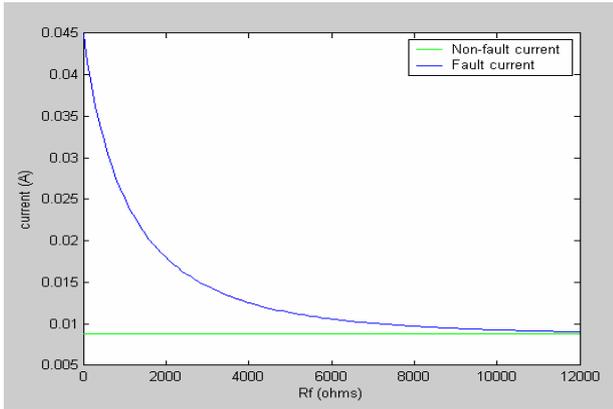
**Şəkil 4** – Subharmonik cərəyanın amplitudasının dəyişməsi

**Figure 4** – Variation of the amplitude of the subharmonic current

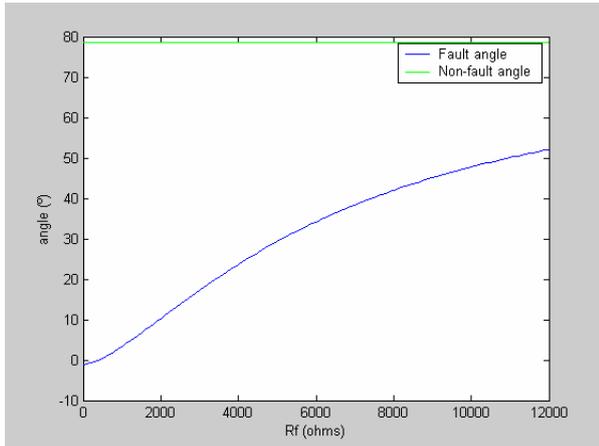


**Şəkil 5** – Subharmonik cərəyanın fazasının dəyişməsi

**Figure 5** – Variation of the phase of subharmonic current



**Şəkil 6** – Subharmonik cərəyanın amplitudasının qısa qapanma müqavimətinin qiymətindən asılılığı  
**Figure 6** – Dependence of the amplitude of the subharmonic current on the value of the short-circuit resistance



**Şəkil 7** – Subharmonik cərəyanın fazasının qısa qapanma müqavimətinin qiymətindən asılılığı  
**Figure 7** – Dependence of the phase of the subharmonic current on the value of the short-circuit resistance

Göründüyü kimi, subharmonik cərəyanın fazası həmişə qəza olmayan haldakı cərəyanın bucağından kiçikdir. Həmçinin qəza müqaviməti artdıqca subharmonik cərəyanının fazası artır.  $R_f=12$  kOm olduqda cərəyanının bucağı  $52.07^\circ$  olur, bu isə o deməkdir ki, qəza və qəza olmayan hallar üçün cərəyanlar fazalararası fərqi  $78.67-52.07=26.6^\circ$ . Bu fazalar fərqi siqnal emalı qurğu tərəfindən asanlıqla aşkar oluna bilər və bu isə o deməkdir ki, subharmonik cərəyanın bucağının tapılması qiymətinin tapılmasından həssaslığa

görə daha əlverişlidir [3, 7-11].

Qəza müqavimətlərin müxtəlif qiymətlər üçün aparılmış hesablamaların nəticələri cədvəl 2-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, qəza müqaviməti 30 kOm olduğu halda subharmonik cərəyanın fazası  $67.29^\circ$  olur. Yəni, qəza olmayan haldakı cərəyan fazası ilə fərqi  $11.38^\circ$ -dir. Həmçinin bu qiymət də mühafizə sistemi tərəfindən heç bir problem olmadan aşkar oluna bilər. Beləliklə, subharmonik mühafizə sxemi statorun yerlə qapanma qəzasını subharmonik ötürülən gərginliyin yaratdığı cərəyanın dəyişməsilə aşkar edə bilər.

**Cədvəl 1** – Müxtəlif qısa qapanma müqavimətlərinə uyğun olan subharmonik cərəyanın fazaları

**Table 1** – Phases of subharmonic current corresponding to different short-circuit resistances

Qəza müqaviməti (Om)	Bucaq ( $^\circ$ )
$\approx 0$	-1.1933
2000	10.254
4000	23.642
6000	34.192
8000	41.99
10000	47.746
12000	52.074
14000	55.408
16000	58.036
18000	60.151
20000	61.886
22000	63.332
24000	64.554
26000	65.598
28000	66.502
30000	67.29

Bir tərəfdən əgər sxem qiymət dəyişməsindən istifadə etsə statorun yerlə qapanması yalnız müəyyən qəza müqavimətində aşkar oluna bilər. Yüksək müqavimətli qəzalar üçün, qəza olmayan və olan hallardakı cərəyanın qiymət dəyişməsi kifayət qədər böyük olmur ki, bu da sxemin həssaslıq probleminə gətirib çıxarır.

Digər tərəfdən əgər sxem cərəyanın bucaq dəyişməsindən istifadə etsə hətta çox yüksək qəza müqavimətlərində belə statorun yerlə qapanması aşkar oluna bilər. Simulyasiyalar göstərir ki, 30 kOm qəza müqavimətləri müəyyən oluna bilər.

### Nəticə

Beləliklə, generatorun stator dolağını yerlə qısa qapanmalardan mühafizə edən subharmonik cərəyanlar metodunu tətbiq etməklə aşağıdakı nəticələri alırıq:

Subharmonik cərəyanlar metodu generatorun stator dolağının 100% mühafzəsini təmin

edir. Rele mühafizəsinin qoyulmuş parametrlərinin subharmonik cərəyanın amplitud qiymətinə görə deyil, subharmonik cərəyanın fazasına görə sazlanmalıdır.

Subharmonik cərəyanlar metodu generatorun stator dolaqlarını müqaviməti  $R_f=30$  kOm qədər olan qısa qapanmalardan mühafizə edir.

### Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

## REFERENCES

1. **Tai, NengLing et al.** (2000), Research subharmonic injection schemes for hydrogenerator stator ground protection, 2000 IEEE, pp.1928-1932. *(in English)*
2. **Sirota I.M., Shapoval A.P., Bogachenko A.E., Dovbnya G.N.** Zashchita ot zamykanij na zemlyu obmotki statora blochnyh generatorov. Elektricheskie stancii, 2009, №4. s.62-65. *(in Russian)*
3. **Pope, J.W.** A comparison of 100% stator ground fault protection schemes for generator stator windings, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No.4, April 2004, pp. 832-840. *(in English)*
4. **Badri Ram and Vishwakarma D.N.** Power System Protection and Switchgear, 2nd edition, Tata McGraw Hill Education Pvt. Ltd., New Delhi. 2017, 684 p. *(in English)*
5. **Balametov A.B., Halilov E.D.** Primenenie kombinirovannyh uravnenij ustanovivshegosya rezhima i teplovogo balansa dlya modelirovaniya rezhimov elektricheskix setej. Vestnik Azerbajdzhanskoj Inzhenernoj Akademii, Tom 11. № 2, 2019, c. 93-103. *(in Russian)*
6. **Tavner P., Ran L., Penman J., and Sedding H.** Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines. 2nd ed. The Institution of Engineering and Technology, London, UK, 2008. *(in English)*
7. **Tierney D., Kasztenny B., Finney D., Haas D., and Lee B.** "Performance of Generator Protection Relays During Off-Nominal Frequency Operation," proceedings of the 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, March 2014. *(in English)*
8. **Soñez P., Vicentini F., Skendzic V., Donolo M., Patel S., Xia Y., and Scharlach R.C.** "Injection-Based Generator Stator Ground Protection Advancements," proceedings of the 41st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2014. *(in English)*
9. **Koepl G. and Braun D.** "New Aspects for Neutral Grounding of Generators Considering Intermittent Faults", CIDEL 2010, Sept. 2010. *(in English)*
10. **Klingerman N., Wright L., Cockerham B.** "Field Experience with Detecting an Arcing Ground Fault on a Generator Neutral Point", 42nd Annual Western Protective Relay Conference, October 2015. *(in English)*
11. **Safari-Shad N. and Franklin R.** "Adaptive 100% Stator Ground Fault Protection Based on Third-Harmonic Differential Voltage Scheme," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 31, no. 4, Aug. 2016, pp. 1429-1436. *(in English)*

## **New Approach to Increase the Solar Panels Energy Parameters**

**R.T. Humbatov, M.B. Namazov**

*Baku Engineering University (Hasan Aliyev str., 120, Khirdalan city, AZ0101, Azerbaijan)*

**For correspondence:**

Humbatov Ramiz / e-mail: rahumbatov@beu.edu.az

**Abstract**

One of the most important issues that need to be solved in the solar energy area is to get the maximum possible energy during the day from panels that convert solar energy into electricity, depending on the position of the sun in the sky. For that, it is proposed to ensure the falling sunray on the panels at right angles by changing their position around two horizontal axes placed perpendicular to each other in proportion to the current value of energy received from the solar panels. Controlling the position of the panels in this way allows always get the maximum possible energy from the falling sunray, regardless of the location on the Earth's surface, the seasons, and the hours of the day.

**Keywords:** solar beams, solar panels, electrical energy, measurement of power, maximum energy, operating controllers.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_77\_88

**Received** 15.04.2023

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

**For citation:**

*Humbatov R.T., Namazov M.B.*

[New Approach to Increase the Solar Panels Energy Parameters]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 77-88 (in English)*

## **Günəş panellərinin energetik göstəricilərinin artırılmasına yeni yanaşma**

**R.T. Hümbətov, M.B. Namazov**

*Bakı Mühəndislik Universiteti (H. Əliyev küç., 120, Xırdalan şəh, AZ0101, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Hümbətov Ramiz/ e-mail: rahumbatov@beu.edu.az

### **Xülasə**

Günəş energetikasında həll olunması vacib məsələlərdən biri Günəşin səmadakı mövqeyindən asılı olaraq günəş enerjisini elektrik enerjisinə çevirən panellərdən gün ərzində daim maksimal mümkün olan enerji əldə etməkdir. Bunun üçün günəş panellərindən alınan enerjinin cari qiymətinə mütənasib olaraq onların vəziyyətini biri-birinə perpendikulyar yerləşdirilmiş iki üfqi ox ətrafında dəyişməklə günəş şüalarının panellərin üzərinə daim düz bucaq altında düşməsinə təmin etmək təklif olunur. Panellərin vəziyyətinin bu qaydada idarə edilməsi Yer səthində yerləşdikləri məkandan, ilin mövsümlərindən və günün saatlarından asılı olmayaraq günəş şüalarından daim maksimal mümkün olan enerjini əldə etmək imkanı yaradır.

**Açar sözlər:** günəş şüaları, günəş panelləri, elektrik enerjisi, gücün ölçülməsi, maksimal enerji, idarəedici kontrollerlər.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_77\_88

---

УДК 621.31

## **Новый подход к увеличению энергетических показателей солнечных панелей**

**Р.Т. Гумбатов, М.В. Намазов**

*Бакинский инженерный университет (ул. Г. Алиева, 120, г. Хырдалан, AZ0101, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Гумбатов Рамиз / e-mail: rahumbatov@beu.edu.az

### **Аннотация**

В статье предлагается метод, как в зависимости от прямого значения полученной электрической энергии изменять положение солнечных панелей, преобразующих солнечную энергию в электрическую: вокруг двух расположенных перпендикулярно относительно друг друга горизонтальных осей обеспечивается падение лучей на поверхность панелей под прямым углом, благодаря чему получают максимально возможную энергию в течение дня. Такой подход создает возможность независимо от их географического расположения на местности, времени года и суток постоянно получать максимально возможную энергию от лучей Солнца.

**Ключевые слова:** солнечные лучи, солнечные панели, электрическая энергия, измерение мощности, максимальная энергия, управляющие контроллеры.

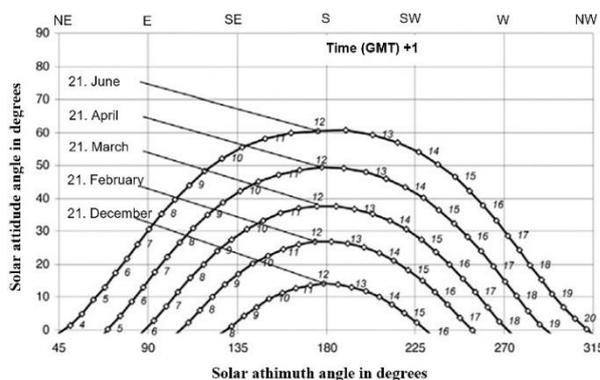
## Introduction

There are various devices that can convert solar energy into electricity with the help of solar panels placed on stationary supports [1]. One of the disadvantages of these devices is that they can efficiently convert energy in just one period of daylight (when the sunrays fall on the panels at an angle of about  $90^{\circ}$ ). Furthermore, it is impossible to take into account the effect of changes in the trajectory of the sun in the sky depending on. It is known that the energy conversion efficiency of solar panels in any place on Earth depends on the current position of the sun in the sky (angle of falling sunbeams), changes in the trajectory, weather temperature, as well as the seasons. Figure 1 shows a diagram of the change in the position of the Sun during the day for Berlin, Germany, Figure 2 for Cairo, Egypt [2], and Figure 3 for Baku, Azerbaijan.

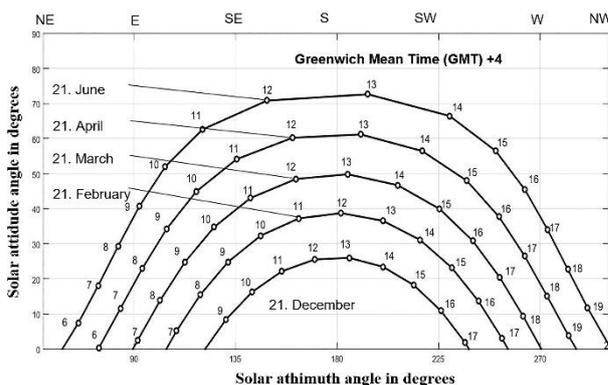
In the diagrams, the NE is standing for the northeast, SE for the southeast, SW for the southwest NW for the northwest, and N, W, and S for the corresponding poles. It is clear from these diagrams that the trajectory of the Sun in the sky during the day in different places on Earth also varies significantly depending on the season. (This expression is conditional in meaning, but in fact, the process is related to the rotation of the Earth around the Sun). Therefore, in order to obtain maximum energy, this factor must be taken into account in the operation of devices that convert solar energy into electricity.

More efficient devices are devices that are placed on movable supports and allow the program to change the position of the panels depending on the position of the Sun in the sky [3-5]. Such devices can only work effectively in areas close to the equator, where the sun rises in the east and sets in the west because in

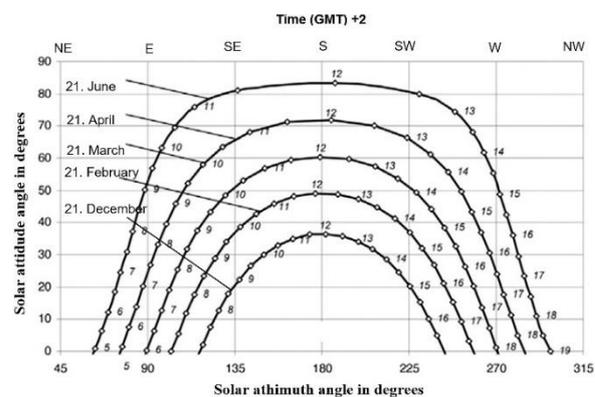
these areas the falling sunray always falls at an angle of about  $90^{\circ}$  to their surface during a bright day due to the rotation of the panels around the horizontal axis.



**Figure 1** – Solar Position Diagram for Berlin, Germany [2]



**Figure 2** – Solar Position Diagram for Cairo, Egypt [2]



**Figure 3** – Solar Position Diagram for Baku, Azerbaijan

In areas far from the equator, such an approach is ineffective because the Sun's

trajectory in the sky changes from season to season, as it is not possible to direct light rays at right angles to the surface of the panels during the day.

Another device uses 5 photocells placed at different angles in 4 planes that record the position of the Sun in the sky to control the position of the panels based on the principle of azimuth and zenith tracking [6].

Another solar tracking system uses a different signal from the two: static and comparable signals from motor transmitters, and the position of the panels is controlled by azimuth and zenith [7].

### The object of the research

In the operation of these devices, the condition of the panels is controlled not in direct proportion to the current value of the energy obtained from them, but in proportion to any indirect indication.

The proposed device allows for overcoming this deficit. This means that it is possible to reach an amount of sunray which is falling to about  $90^\circ$  to the panel, by changing the position of the solar panels around both the 1st and 2nd horizontal axes perpendicular to it, depending on the geographical position of the place, the seasons, the change in energy received and the position of the Sun in the sky.

In our research, samples of solid carbon-fiber-reinforced plastics with and without fiberglass sublayer were subjected to flame electric discharge treatment. The choice of these materials is related to their practicality for use as a substrate. They are lightweight, weather resistant, and affordable. To obtain durable conductive coatings,

### Formulation of the question

As noted, the position of the Sun in the sky varies in each area on the Earth's surface

depending on the seasons and the time of the day, regardless of geographical location, with the exception of areas around the equator. (Figures 1-3). As a result, the energy of the sunray falling on any area varies in each season. In order to get the maximum energy from the rays falling on the solar panels, the rays must always fall on the surface of the panels at an angle of  $90^\circ$ .

Figure 4 [2] shows a scheme of horizontal  $S_1$  and sunray falling on the surface  $S_2$  perpendicular to the direction of sun rays. As shown on the diagram, the intensity of sun rays falling on both surfaces is the same.

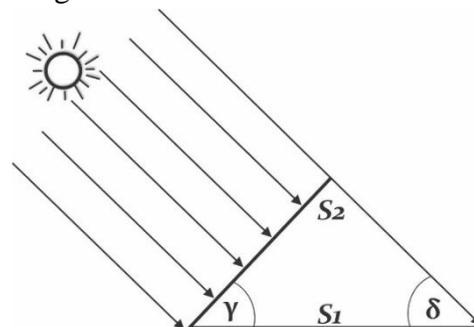


Figure 4 – Irradiance on a horizontal area  $S_1$  and area  $S_2$  perpendicular to the sunlight [2]

Assuming  $E_1 S_1 = E_2 S_2$  to determine the value of radiant energy falling on surfaces [2], since  $S_2 = S_1 \cos \gamma = S_1 \sin \delta$ .

$$E_2 = E_1 / \sin \delta \geq E_1 \text{ is obtained.}$$

Here  $E_1$  is the energy of the beam falling on the horizontal surface, and  $E_2$  is the energy falling on the surface perpendicular to the rays.

As can be seen, the energy of the sunray falling on a perpendicular surface is greater than the energy of the sunray falling on a horizontal surface. In order to prove this, the above-written formula can be expressed as  $E_1 = E_2 \cos \gamma$  [2], the value of sunray energy falling on the surface  $S_1$  will increase significantly as the angle  $\gamma$  between the

surfaces  $S_2$  and  $S_1$  decreases ( $\gamma = 5^0$ ,  $\cos\gamma = 0,9962$ ,  $\gamma = 10^0$ ,  $\cos\gamma = 0,9848$ ,  $\gamma = 15^0$ ,  $\cos\gamma = 0,9659$ ,  $\gamma = 20^0$ ,  $\cos\gamma = 0,9397$ ). This fact must be taken into account in the operation of systems that generate energy with solar panels. Surface orientation increases the energy received. This is especially relevant when the beams have a small angle of sunrays falling and high latitude.

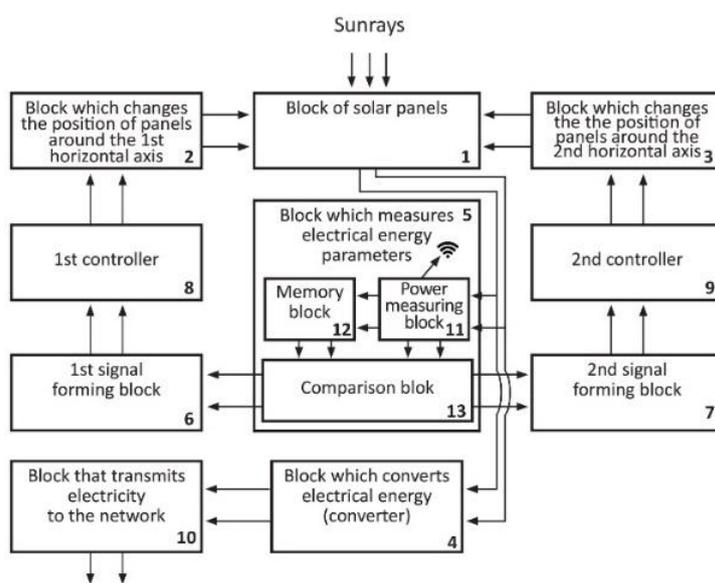
Therefore, it is necessary to constantly change the position of the solar panels depending on the position of the Sun in the sky and to ensure that the sun's rays always fall on the surface of the panels at an angle of  $90^0$ .

### Experimental part

The proposed device allows for achieving this goal. The specific feature of this device that distinguishes it from other existing devices is that, depending on the current value (change) of energy on the surface of solar

panels, the position of the panels changes around the 1st horizontal axis and they are always oriented towards the Sun's position in the sky. Furthermore, this goal is achieved by slightly rotating around the 2nd horizontal axis perpendicular to the 1st horizontal axis so that the sun rays fall onto surface at  $90^0$ angle.

The device consists of a block of solar panels (1), a block that changes its position around the 1st horizontal axis (2), a block that rotates its position around the 2nd horizontal axis perpendicular to the 1st horizontal axis (3), a converter which is converting electricity from solar energy (converter) (4), electrical energy parameters measuring block (5), power measuring block (11), memory block (12) and comparison block (13), control signal forming blocks (6 and 7), controllers (8 and 9) and a block (10) that transmits electricity to the network (Figure 5) [8].



**Figure 5** – Block diagram of the device [8]

The device works as follows. In order to get the maximum energy from the Sun in any area, the solar panel block of the device (1) is placed and activated according to the position

of the Sun in the sky. The parameters of the electrical energy obtained from the conversion of the number of sunrays are constantly measured through the block (5) and the value

of the maximum energy corresponding to the time of noon is stored in the memory block (12). As the Sun changes position in the sky, the decrease in energy is recorded by the power measuring block (11), the current energy value is compared with the maximum value stored in memory and proportional signals are transmitted to the inputs of blocks (6) and (7). The signals of blocks (6) and (7) generate appropriate control signals by the controllers (8 and 9) to change panel block positions (1). These signals are transmitting respectively panel positions to blocks (2) and (3), which are changing around the 1st and perpendicularly located 2nd horizontal axes. Blocks (2) and (3) change the position of the panel block respectively both around the 1st horizontal axis (according to the changed position of the Sun) and around the 2nd horizontal axis (so that the sunray falls on  $90^0$ angle).

The need to change the position of the solar panels around the 2nd horizontal axis means to ensure that their surface is directed at right angles to the sunray in different seasons and places.

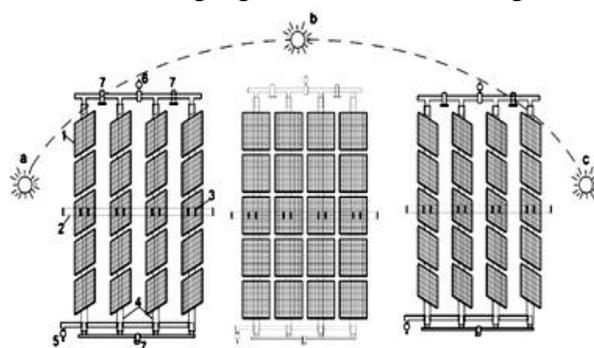
Thus, maximum efficiency in energy conversion is achieved due to the fact that the amount of sunray constantly falls on the surface of the panels at right angles during the day.

This approach makes it possible to achieve high efficiency in the operation of energy converters, taking into account their geographical location, seasonal changes, as well as time of day.

This is achieved by mechanically acting on the supporting structures on which the solar panels are located, moving them in one direction or another under conditions of reduced energy conversion.

In practice, it is possible to transmit the current values of power at the outputs of the unit, which measures the power of solar panels, directly to the center of the station via a Wi-Fi transmitter and thus record the amount of energy produced during the day.

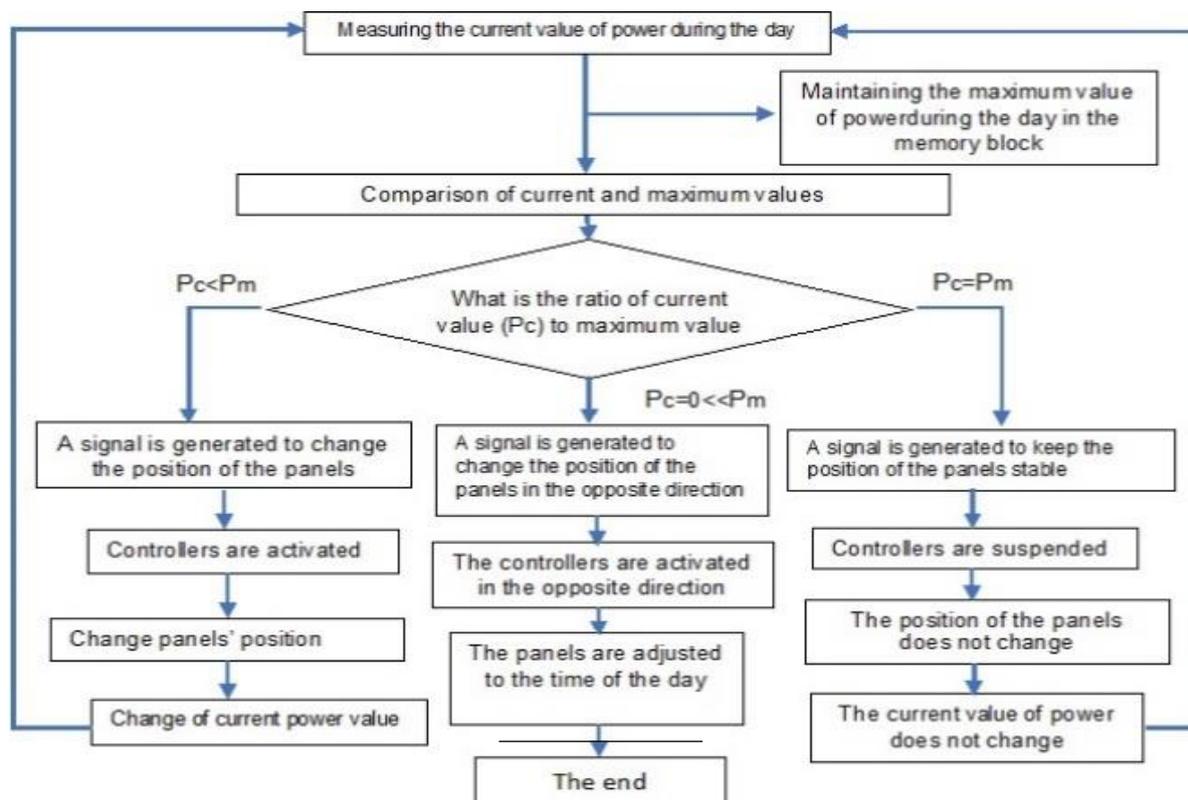
A schematic view of a sample of the device consisting of 20 solar panels is shown in Figure 6 and the working algorithm is shown in Figure 7.



**Figure 6** – Position of solar panels of the device in the morning (a), noon (b), and evening (c) [8]

The solar panels (1) are placed on the 1st horizontal axis (4) resting on the pads (3) on the fixed supports (2). The supports (2) also act as a second horizontal axis perpendicular to the 1st axis, which can move up and down around the panels. The panels have the ability to move (rotate) around the 1st axis from left to right and vice versa. This is due to the signals coming from block (5), which changes the position of the panels around the 1st horizontal axis. The position of the panels changes up and down around the 2nd horizontal axis due to the signals received from the block (6).

Blocks (5) and (6), which change the position of the panels around the 1st and 2nd horizontal axes, change the position of the panels in proportion to the value of the signals received from the controllers (8 and 9) included in the device (see Figure 5).



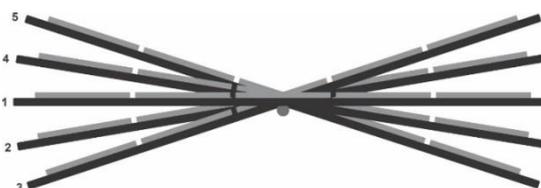
**Figure 7** – Algorithm for managing the position of solar panels during the day [8]

These signals are formed on the basis of the difference between the signals obtained from the comparison of the maximum value of electricity received from the panels during the day with the current value.

Thus, as a result of changes in the current value of the energy received, the panels, which are placed at approximately right angles to the rising Sun in the morning, rotate and change their position to 90° near sunset time. At the same time, because of the signal from block (6), a slight change in the position of the panels around the 2nd axis (Figure 8.) ensures that the sunray is falling on the surface of the panels at an angle of 90° during the day. The panels are reset at midnight.

The solar panels (1) are placed on the 1st horizontal axis (4) resting on the pads (3) on the fixed supports (2). The supports (2) also act as a

second horizontal axis perpendicular to the 1st axis, which can move up and down around the panels.



**Figure 8** – Diagram of the change of position of the panels around the 2nd horizontal axis (side view) [8] (1-position for June, 2, 3, 4, 5 – positions for other seasons)

The panels have the ability to move (rotate) around the 1st axis from left to right and vice versa. This is due to the signals coming from the block (5), which changes the position of the panels around the 1st horizontal axis. The position of the panels changes up and down around the 2nd horizontal axis due to the signals received from the block (6). Blocks (5) and (6), which

change the position of the panels around the 1st and 2nd horizontal axes, change the position of the panels in proportion to the value of the signals received from the controllers (8 and 9) included in the device (see Figure 5). These signals are formed on the basis of the difference of the signals obtained from the comparison of the maximum value of electricity received from the panels during the day with the current value. Thus, as a result of changes in the current value of the energy received, the panels, which are placed at approximately right angles to the rising Sun in the morning, rotate and change their position to 90° near to sunset time. At the same time, because of the signal from the block (6), a slight change in the position of the panels around the 2nd axis (Figure 8.) ensures that the sunray is falling on the surface of the panels at an angle of 90° during the day. The panels are reset at midnight.

The proposed device is essentially an automatic positioning system of solar panels (APSSP). The main distinguishing feature is that despite being iconic, both axes are located in the panel plane carrying control out in the function of power. The basic circuit consists of a power circuit that reflects the energy conversion (Figure 9) and a control circuit of the automatic positioning system (Figure 10). Regarding the software, the power circuit consists only of hardware and the control system consists of hardware and software.

The power circuit has a relatively simple and traditional structure. The composition of the equipment is shown in the figure below. The control circuit is based on the Arduino controller. Two TB6600 drivers were used to connect the execution motors (step motors are shown as an example in Figure 10). The performance of both the Arduino and the TB6600 driver is the same as in the industrial models of these devices. Taking into account

that the composition of the hardware is determined by the working algorithms of the software, it is better to start the explanation of the scheme with the software part.



**Figure 9** – Power circuit of APSSP Inverter: for single phase-network: MUST EP3000 (12-14/220 V, 1-6 kVt); GW15K-DT (26 kVt and higher) GP-controller-solar panel controllers: (MPPT-controller): PC1600F; series 45/60/80A (MPPT)

The control program of the dual APSSP must perform the positioning in the power function. In this case, the issue of measuring or determining the current value of energy conversion capacity must be resolved.

Any power meter is installed in the DC circuit up to the inverter and the device measures the current value of power  $P$ . As the coefficient of efficiency of solar panels depends on the angle of falling sunbeams to the surface [9] and the changing angle of sunlight relative to normal direction is expressed by its sinus and cosines, the change in the current value of power relative to the maximum value should be expressed as follows:

$$P = P_{\max} \sin \alpha \pm P_{\max} \cos \beta. \quad (1)$$

Reduction of power relative to the maximum value:

$$\Delta P = P_{\max} - (P_{\max} \sin \alpha \pm P_{\max} \cos \beta), \quad (2)$$

$$\Delta P = P_{\max} (1 - (\sin \alpha \pm \cos \beta)). \quad (3)$$

As can be seen, it is not known which part of the current value of the power determined by a measuring device decreases whether under the influence of the angle  $\alpha$  or  $\beta$ . However, since the annual and daily velocities and directions of the Sun relative to the Earth is known, and it is possible to implement expression (3) with software. In this sense, the management of the power function should be based on the principle of program management. It is known from astronomical knowledge that the annual speed of the Sun relative to the Earth (in  $\beta$  coordinates) is 0.986 degrees/day or 0.041 degrees/hour, and the speed of daily movement (in  $\alpha$  coordinates) is 15 degrees/hour or 0.25 degrees/minute.

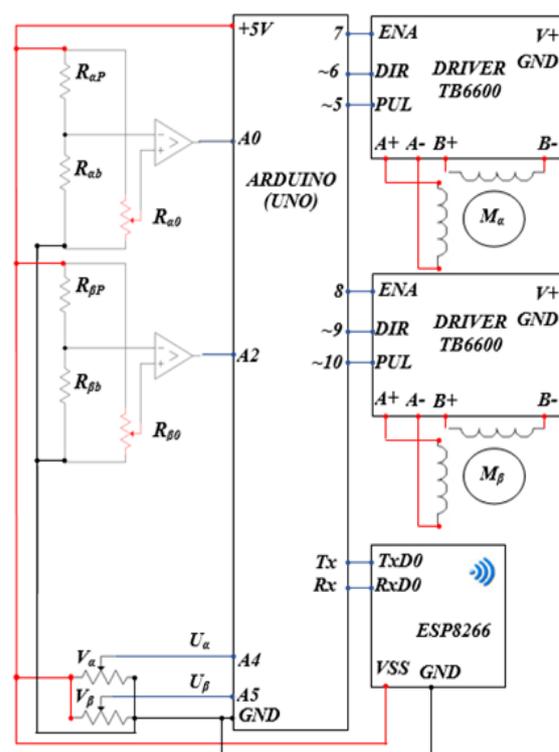
Thus, for certain time intervals, it is possible to calculate the inclination values of the sun's rays relative to the norm drawn on the panel surface and enter them into the memory block shown in Figure 8. Assume that the maximum power inclination for the control task should not exceed 1%. For this purpose, the inclination angle of the sun's rays in both coordinates should be spaced over time so that the decrease in power relative to the maximum value does not exceed 1%. The following table (Table 1) shows the coordinates for a 15% annual movement and a 1% decrease in relative power during 1 hour of daily movement.

As can be seen, a 1% decrease in relative power occurs when the sun's rays are tilted by 0.6 degrees, which corresponds to a time interval of 2 minutes 24 seconds at the  $\alpha$  coordinate, and 14 hours and 24 minutes at the  $\beta$  coordinate.

In Figure 10 step motors are used as an example, but DC motors can also be used for this purpose. Although step motors are

relatively inexpensive, they do not have coordinated feedback lines. However, the developed control algorithms should be slightly modified while taking into account the practical operating conditions.

Thus, given the lack of energy conversion from sunset to dawn the next day and the fact that the annual speed of the Sun is many times smaller than the daily speed, it is more expedient to compile the algorithms as follows: In accordance with the conditions of the geographical location of the device, the time of daily dawn and sunset for a period of one year are recorded and saved;



**Figure 10** – APSSP management circuit  $R_{\alpha}$  is a resistive potentiometer that provides a power-voltage matching resistor, a voltage divider resistor, and a comparator operating at a relative power reduction of 1%, respectively,  $R_{ab}$  &  $R_{\alpha 0}$  -  $\alpha$ -coordinates;  $R_{\beta P}$ ,  $R_{\beta b}$  &  $R_{\beta 0}$  -  $\beta$  are similar elements in  $\beta$  coordinate;  $V_{\alpha}$   $V_{\beta}$  - rotation angle transmitters;  $M_{\alpha}$   $M_{\beta}$  are  $\alpha$  and  $\beta$  coordinate actuators.

**Table 1** – The annual inclination of the sun, Daily inclination of the sun, and Relative change of power

№	Annual inclination of the sun		Daily inclination of the sun		Relative change of power			
	daily	hour	inclination (in degrees)	hour	minute	inclination (in degrees)	on the coordinate $\beta$	on the coordinate $\alpha$
1	0	0	0,00	0		0		
2	0,6	14,4	0,59	0,04	2,4	0,6	1,05%	1,03%
3	1,2	28,8	1,18	0,08	4,8	1,2	2,09%	2,06%
4	1,8	43,2	1,78	0,12	7,2	1,8	3,14%	3,10%
5	2,4	57,6	2,37	0,16	9,6	2,4	4,19%	4,13%
6	3	72	2,96	0,2	12	3	5,23%	5,16%
7	3,6	86,4	3,55	0,24	14,4	3,6	6,28%	6,19%
8	4,2	100,8	4,14	0,28	16,8	4,2	7,32%	7,22%
9	4,8	115,2	4,73	0,32	19,2	4,8	8,36%	8,25%
10	5,4	129,6	5,33	0,36	21,6	5,4	9,41%	9,28%
11	6	144	5,92	0,4	24	6	10,45%	10,30%
12	6,6	158,4	6,51	0,44	26,4	6,6	11,49%	11,33%
13	7,2	172,8	7,10	0,48	28,8	7,2	12,53%	12,36%
14	7,8	187,2	7,69	0,52	31,2	7,8	13,56%	13,38%
15	8,4	201,6	8,28	0,56	33,6	8,4	14,60%	14,40%
16	9	216	8,88	0,6	36	9	15,64%	15,42%
17	9,6	230,4	9,47	0,64	38,4	9,6	16,67%	16,44%
18	10,2	244,8	10,06	0,68	40,8	10,2	17,70%	17,46%
19	10,8	259,2	10,65	0,72	43,2	10,8	18,73%	18,48%
20	11,4	273,6	11,24	0,76	45,6	11,4	19,76%	19,49%
21	12	288	11,84	0,8	48	12	20,78%	20,50%
22	12,6	302,4	12,43	0,84	50,4	12,6	21,80%	21,51%
23	13,2	316,8	13,02	0,88	52,8	13,2	22,82%	22,52%
24	13,8	331,2	13,61	0,92	55,2	13,8	23,84%	23,52%
25	14,4	345,6	14,20	0,96	57,6	14,4	24,86%	24,52%
26	15	360	14,79	1	60	15	25,87%	25,52%

The command "Start" is issued immediately at dawn; The "Start" command connects the control and power circuits to the power supply, and forms the "Ready" command; The "Ready" command generates task signals at  $\alpha$  and  $\beta$  coordinates so that the panels are oriented in the normal direction towards the sun's rays; On the basis of the formed task signals, the panels are automatically positioned perpendicular to the sun's rays by means of  $\alpha$  and  $\beta$  coordinate

transfers; The deviation from the maximum value of the power on the  $\alpha$  coordinate is determined by the time interval every 2 minutes and 24 seconds; The control signal is formed according to the value of inclination relative to the maximum power; 0.6degree positioning is performed in the direction of the diurnal motion of the Sun at the coordinate  $\alpha$ ; From the moment of completion of the operations specified in paragraph 5, after the expiration of 14 hours and 24 minutes, the

deviation from the maximum value of power in the  $\beta$  coordinate is determined; The control signal is formed in accordance with the value of the inclination relative to the maximum power on the coordinate  $\beta$ ; 0.6degree positioning is performed in the direction of the annual motion of the Sun at the coordinate  $\beta$ ; According to the moment of sunset, the "Stop" command is formed, the panels are brought to the initial position according to the moment of dawn, and the control and power circuits are turned off; Paragraphs 2-12 are repeated periodically, for a specified period. As for the procedure for connecting the functional block diagram shown in Figure 8 to the Internet via Wi-Fi, it is necessary to specify the hardware required for this purpose. In our opinion, it is enough to create the hardware on the ESP8266 chip and -USB ~ UART adapter.

Thus, the ESP8266, as a modem, while having the function of a Wi-Fi emitter, has considerable practical experience in its use with Arduino. The USB ~ UART adapter is for creating software by connecting the ESP8266 modem directly to a computer or any laptop (USB is not shown in Figure 10). ESP8266 software is written in C ++.

The protocol for connecting the Arduino module to the Wi-Fi module consists of steps that can be considered quite standard: Connect the Arduino module to the power supply and wait for the "Arduino-Uno-WiFi-xxxxxx" (xxxxxx-module identifier) network to be reflected; Connect to this network from any Internet browser with IP address 192.168.240.1; Configure the module in the web interface while entering the Network SSID item and press the CHANGE button to reach the initial network settings of the Arduino module; Connect to a Wi-Fi network; Access Arduino Uno Wi-Fi network from any

computer, laptop, or smartphone with a valid IP address; Using the SWITCH TO STA MODE button, change the network AP + STA mode to STA mode.

In practice, it is possible to develop a program by analyzing the indicators that reflect the management of the panels performance as a result of a one-year operation of the device located in any particular region and area in subsequent years for each season or month. It is also planned to create options to control the position of the panel units manually for the start-up preparation, maintenance, and repair of the unit.

From the structural point of view, the need to place such a set of panels at a certain height above the ground, unlike stationary structures, requires that they be mounted on solid supports and protected from external influences, such as wind erosion (restrictive supports (7) (Fig.6)).The distance between the first horizontal axes around which the panels rotate during the day is chosen so that the panels closest to the falling sunray (in the foreground) do not cast shadows on the surface of the panels after them, either when the sun rises in the morning or sets in the evening [10]. The solar panel block is built as a telescopic system based on the modular principle, which means that the number of panels in each row determines the number of modules. As the number of panels in each row increases, their angle of displacement around the second horizontal axis will also increase. In this case, it will be necessary to place the whole structure at a higher level than the Earth's surface.

But the infinite increase in the number of modules will lead to an increase in the size and weight of the overall structure and will complicate the operation of the device. In such cases, it is more appropriate to operate several parallel devices. In this case, all of them will

operate and be managed on the basis of a single algorithm.

During the application of the device, the power supply of all its units, including the transmissions that change the position of the panels, is carried out at the expense of electricity directly from solar panels, which makes the operation of the device more efficient.

The parts of the solar panels placed in stationary positions close to the ground surface have different effects on the operation of the panels due to the fact that they are warming up quicker than the above parts. This shortcoming is completely eliminated in the proposed device so that the surface temperature of the panels will be consistent same everywhere.

## Conclusion

In order to increase the energy performance of solar panels, the theoretical basis and the principle of construction of the device are explained, which allows changing their position around two horizontal axes perpendicular to each other depending on the value of energy obtained directly from the panels. In the operation of the device, the panels are always directed at right angles to the falling sunray amount, thus allowing to get the maximum possible energy from the panels during a bright day, regardless of the geographical location and season of the year.

## Conflict of Interests

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. **Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Melinin N.K.** Solar energy: textbook. Manual for universities / MPEI Publishing House, 2008, Moscow (*in Russian*)
2. **Volker Quaschnig.** Understanding Renewable Energy Systems. Earthscan, Sterling, VA, pp.58,59,61, London (*in English*)
3. **Mostefa Ghassoul.** Design of an Automatic Solar Tracking System to Maximise Energy Extraction. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 3, Issue 5, May 2013, pp. 453-460. (*in English*)
4. **Jeng-Nan Juang, R.Radharamanan.** Design of a Solar Tracking System for Renewable Energy. Proceeding of 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1). (*in English*)
5. **Y.J.Huang, T.C.Kuo, C.Y.Chen, C.H.Chang. P.C.Wu and T.H.Wu.** The Design and Implementation of a Solar Tracking Generating Power System. Engineering Letters, 17:4, EL\_17\_4\_06, Advance online publication: 19 November, 2009. (*in English*)
6. Patent of the Russian Federation, RU 2312426, 10.12.2007. (*in Russian*)
7. Patent of the Russian Federation, RU 2298860, 10.05.2007. (*in Russian*)
8. Patent of the Azerbaijan Republic № I 2020 0022, Bul. № 2020-09. (*in Azerbaijani*)
9. <https://solarsoul.net/treker-dlya-fotoelektricheskix-ustanovok>
10. **Əzizov B.M., Mehdiyev C.S., Əzizova A.N.** Ekoloji-iqtisadi problemlərin mühüm global xüsusiyyətləri // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. Çild 4, №3, 2012. C. 107-117 (*in Azerbaijani*)

## **The Acousto-Optical Means for Optimal Radio Receiving**

**R.A. Ahmadov**

*Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave. 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Ahmadov Rovshan / e-mail: rovshanahmadov@naa.edu.az

### **Abstract**

The article substantiates the importance of radar and analyzes its main characteristic features. It is shown that one of its most essential problems is the selection of a weak signal comparable with noise from a signal-to-noise mixture. It is noted that the problem can be solved only with the use of special technical means. The possibility of using an optimal linear filter for solving the problem is discussed. It is proved that the optimal linear filter, the parameters of which are adapted to the parameters of the probing signal, can provide effective receiving of the signal reflected from the object. It is shown that the main component of such an optimal linear filter is a device that provides a time delay for the signal. Most of radar systems use delay lines that provide a fixed time offset, in which case only one known pulse can be received. The peculiarities of the photo-elastic effect are discussed in the context of the formation of the required time delay. It is shown that in this case it is possible to smoothly adjust the required time delay in a wide range. It has been proven that an optimal linear filter with wider functional potentialities can be synthesized on the basis of an acousto-optical delay line.

**Keywords:** radar, noise, optimal linear filter, photoelastic effect, delay line, acousto-optics.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_89\_95

**Received** 30.03.2023

**Revised** 14.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Ahmadov R.A.*

[The Acousto-Optical Means for Optimal Radio Receiving]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 89-95 (in English)*

## **Optimal radioqəbul üçün akustooptik vasitələr**

**R.Ə. Əhmədov**

*Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Əhmədov Rövşən / e-mail: rovshanahmadov@naa.edu.az

### **Xülasə**

Məqalədə radiolokasiyanın önəmli əhəmiyyəti əsaslandırılmış və onun əsas xarakterik xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, onun əsas problemlərindən biri küy ilə müqayisə oluna biləcək zəif siqnalın siqnal-manəə toplusundan ayrılmasıdır. Qeyd olunmuşdur ki, problem yalnız xüsusi texniki vasitələrin tətbiqi ilə həll oluna bilər. Məsələnin həlli üçün optimal xətti süzğəcin tətbiqinin mümkünlüyü araşdırılmışdır. Sübut olunmuşdur ki parametrləri, zondlayıcı siqnalın parametrlərinə uyğunlaşdırılmış optimal xətti süzğəc obyektədən əks olunan siqnalın effektiv qəbulunu təmin edə bilər. Göstərilmişdir ki, belə optimal xətti süzğəcin əsas tərkib hissəsi siqnalın zaman ləngiməsini təmin edən qurğudur. Məlum radiolokasiya sistemlərində fiksə olunmuş zaman sürüşməsi verən ləngitmə xətlərindən istifadə olunur və bu halda yalnız məlum parametrlə bir impulsun qəbulu mümkün olur. Fotoelastik effektin xüsusiyyətləri tələb olunan zaman ləngiməsinin formalaşdırılması kontekstində araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, bu halda tələb olunan zaman ləngiməsini geniş intervalda səlislə tənzimləmək mümkün olur. Sübut olunmuşdur ki, daha geniş funksional imkanlara malik optimal xətti süzğəc akustooptik ləngitmə xətti əsasında reallaşdırıla bilər.

**Açar sözlər:** radiolokasiya, küy, optimal xətti süzğəc, fotoelastik effekt, ləngitmə xətti, akustooptika.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_89\_95

УДК 621.391.272

## **Акустооптические средства для оптимального радиоприема**

**Р.А. Ахмедов**

*Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардаканский пр., 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Ахмедов Ровшан / e-mail: rovshanahmadov@naa.edu.az

### **Аннотация**

В статье обоснована важность радиолокации и анализированы ее основные характерные особенности. Показано, что одной из ее важнейших проблем является выделение, сравнимого с шумами слабого сигнала из смеси сигнал-помеха. Отмечено, что проблему можно решить только с применением специальных технических средств. Обсуждена возможность применения оптимального линейного фильтра для решения задачи. Доказано, что оптимальный линейный фильтр, параметры которого адаптированы к параметрам зондирующего сигнала, может обеспечить эффективный прием отраженного от объекта сигнала. Показано, что основным компонентом такого оптимального линейного фильтра является устройство, обеспечивающее временную задержку сигнала. В известных радиолокационных системах используются линии задержки, которые обеспечивают фиксированный временной сдвиг, и в этом случае можно обеспечить прием только одного импульса с известными параметром. Особенности фотоупругого эффекта обсуждены в контексте формирования требуемой временной задержки. Показано, что в этом случае можно плавно регулировать требуемую задержку времени в широком интервале. Доказано, что оптимальный линейный фильтр с более широкими функциональными возможностями может быть реализован на основе акустооптической линии задержки.

**Ключевые слова:** радиолокация, шум, оптимальный линейный фильтр, фотоупругий эффект, линия задержки, акустооптика.

## Introduction

One of the most important areas of modern radio electronics is radiolocation. Its wide use in the defense industry has intense the principality of this direction. One of the signals used here is an echo signal which it is formed backscattering wave from an object. The probing signal transmit by radar interacts with the object and scatter in different directions. A small part of the backscattering wave is propagation the direction of the radar and is received by the radar receiver [1]. The received signal  $s_g(t)$  is time-shifted copy of probing signal  $s_v(t)$

$$s_g(t) = A \cdot s_v(t - \tau), \quad (1)$$

where  $A$  is attenuation factor and  $\tau$  shifting time interval. Usually attenuation factor in (1) is  $A \ll 1$ . The amplitude of the received signal can be small enough to be compared with the root means square of noise volatage at the input of the receiver. This issue can be discussed example of STAR-2000 surveillance radar. In this case attenuation factor in (1) is defined as follows:

$$A = G \cdot \sigma_{eff} \cdot S_t / (4\pi R^2)^2, \quad (2)$$

where  $G$  is the antenna gain,  $\sigma_{eff}$  is the effective scattering area of the radar object,  $S_t$

is the effective area of the antenna and  $R$  is the distance from the radar to the object.

The effective area of the antenna is defined as next formula

$$S_t = G \cdot (c/f)^2 / 4\pi, \quad (3)$$

where  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s velocity of electro-magnit waves in vacuum,  $f$  is operating frequency.

## The urgency of the problem

Let's assume that the observation object with an effective scattering area  $\sigma_{eff} = 40 \text{ m}^2$  is located at a distance of  $R = 100 \text{ km}$  from the radar. The necessary parameters [2] of STAR-2000 surveillance radar for calculation and some calculations results based on (2) and (3) are illustrated in Table. It is clear that if a complex of special measures is not implemented, it will not be possible to ensure receiving of the signal in the range of values of the attenuation factor depicted in Table. For the tackling of this problem research is being conducted different directions. The one of these directions is that the created and applying best detecting devices for the signal which distorted from the noise effect.

**Table** – The some parameters of STAR-2000 surveillance radar and calculation results

Nö	Parameter	Parameter Value	Note
1	Operating frequency	2,7 – 2,9 GHz	The radar works on one of the frequencies in this range
2	Peak power	15 kWt	If the radar works with 15 modules
3	Pulsewidth of the probing signal, $\tau_i$	1 $\mu$ s and 75 $\mu$ s	
4	Antenna gain, $G$	34,3 dB	
5	Effective area of the antenna, $S_t$	2,645 – 2,293 $\text{m}^2$	
6	Attenuation factor, $A$	$1,8 \cdot 10^{-17}$ - $1,563 \cdot 10^{-17}$	

At the simple situation can be use from frequency filtering. In this case, the frequency transfer coefficient  $K(j\omega)$  of the linear stationary filter is chosen so that amplitude-frequency response  $|K(j\omega)|$  values are large in the frequency range where the main part of the signal energy is concentrated and small in the frequency range where the spectral density of the noise power is large. When a sum of the signal and noise is given to the input of such a filter, it can be expected that the share of the signal at the output will increase significantly. A system with frequency selectivity that ensures the processing of the sum of the signal and noise in any good way is called an optimal linear filter [3].

It is not required to maintain the shape of the useful signal when the radar system is working. In addition, in the work process, it is desirable to transform the useful signal in such a way that at input of the filter a significant "increase" in the instantaneous values of the output signal at any moment. Usually, a signal consisting of Gaussian noise is less likely to have large increases. Therefore, the fact that the output signal is significantly higher than the effective noise voltage at certain moments of time, most likely confirms the fact that there is a useful signal at the input of the receiver.

**Optimal linear filter for probing signals.** If the input of the linear stationary filter with impulse response  $h(t)$  is affected by the signal  $s_{in}(t)$ , the signal  $s_{out}(t_0)$  with its maximum value at its output at the moment  $t_0$  is found by means of the Duhamel integral as follows:

$$s_{out}(t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} s_{in}(\tau)h(t_0 - \tau)d\tau. \quad (4)$$

According to the Cauchy-Bunyakovsky inequality (4) can be written follow as:

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} s_{in}(\tau)h(t_0 - \tau)d\tau \right| \leq \left[ \int_{-\infty}^{\infty} s_{in}^2(\tau)d\tau \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t_0 - \tau)d\tau \right]^{1/2} \quad (5)$$

In this expression, the equal sign is possible only if the products of the integrand given in (4) are proportional to each other:

$$h_{opt}(t_0 - t) = k \cdot s_{in}(\tau), \quad (6)$$

where  $k$  characterizes an arbitrary coefficient.

By formally replacing the variable as  $t = t_0 - \tau$ , (6) can be written as follows:

$$h_{opt}(t) = k s_{in}(t_0 - t). \quad (7)$$

It is clear from the last mathematical expression that the impulse response  $h_{opt}(t)$  of the optimal linear filter is a scaled copy of the input signal which located in a mirror order on the time axis (this is seen from the minus sign in (7)). In addition, the impulse response of the optimal linear filter is shifted by  $t_0$  with respect to the  $s_{in}(-t)$  signal [4].

Optimal linear filters are applied in pulse radar receivers. In this case, the these filters are placed in the intermediate or low-frequency tract for easier technical installation.

Since the impulse response of a linear stationary system and the frequency transfer coefficient are related to each other by Fourier transform, according to the (7) the following formula can be written as

$$K_{opt}(j\omega) = k \int_{-\infty}^{\infty} s_{in}(t_0 - t)e^{-j\omega t} dt. \quad (8)$$

Including the new integration variable  $\xi = t_0 - t$  is getting next formula:

$$K_{opt}(j\omega) = k e^{-j\omega t_0} \int_{\infty}^{-\infty} s_{in}(\xi)e^{j\omega \xi} d\xi. \quad (9)$$

The spectral density of amplitude of input signal  $s_{in}(t)$  is define with Fourier

transform follow as:

$$S_{in}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s_{in}(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (10)$$

Accordingly, the (9) found for the frequency transfer coefficient of the optimal linear filter can be written as follows:

$$K_{opt}(j\omega) = kS_{in}^*(j\omega)e^{-j\omega t_0}, \quad (11)$$

where  $S_{in}^*(j\omega)$  is complex conjugate function of  $S_{in}(j\omega)$ .

It can be seen from the last statement that the frequency transfer coefficient of the optimal linear filter is expressed by the spectral density of the received useful signal. The proportionality coefficient  $k$  in the (10) determines the level of amplification of the filter. The  $t_0$  is included only in the expression of the phase characteristic of the filter. In this case, the  $e^{-j\omega t_0}$  represents the shift of the output response on the time axis by  $t_0$ .

**Optimal linear filter for radar with single probing pulse.** For complete clarity of the matter, let us assume that the radio receiver is designed to receive a single radio pulse width  $\tau_i$  and the optimal linear filter is placed in the low-frequency tract of the radar receiver. In this case, a rectangular video pulse  $s_{in}(t)$  with width  $\tau_i$  and amplitude  $U_0$  is formed at the input of the optimal linear filter.

The spectrum of the pulse signal  $s_{in}(t)$  is found based on the frequency transfer coefficient of the optimal linear filter according to the (11):

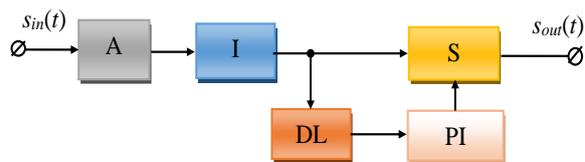
$$S_{in}(j\omega) = \frac{U_0}{j\omega} (1 - e^{-j\omega\tau_i}). \quad (12)$$

The frequency transfer coefficient of the optimal linear filter, which provide to detecting of the video signal with pulse width  $\tau_i$  is founded follow as:

$$K_{opt}(j\omega) = k\left(\frac{1}{j\omega}\right)(1 - e^{-j\omega\tau_i}). \quad (13)$$

The obtained result fully defines the structure of the optimal linear filter for a

rectangular video pulse. According to the last equation the optimal linear filter, which provides the detection of a rectangular video pulse known width, consists of a stepwise combination of three linear loops. The first loop is amplifier (A), which its gain is  $k$ , the second loop is an ideal integrator (I) and the third loop is a device with frequency transfer coefficient  $K(j\omega) = [1 - \exp(-j\omega\tau_i)]$ . The third loop also consists of delay lines (DL) that delays the signal by  $\tau_i$ , an phase inverter (PI) that changes the phase of the signal and an summer (S). The structural scheme of the optimal linear filter for a single rectangular video pulse which synthesized according to the given explanation is described in Figure 1.



**Figure 1** – The structural scheme of the optimal linear filter for a single rectangular video pulse

**Solution.** From the common analysis of the analytical description given above and the structural scheme shown in Figure 1, it is clear that one of the main components of the optimal linear filter is the device that ensures the delay of the video pulse by  $\tau_i$ .

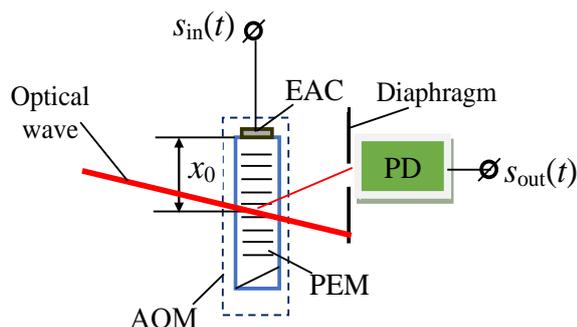
It is depicted in given table that the STAR-2000 surveillance radar uses two probing signals which the pulsewidth of them is  $1 \mu\text{s}$  and  $75 \mu\text{s}$ . In this case, the synthesis of the optimal linear filter require the two delay lines providing a fixed time delay.

Obviously, in this situation, the optimal linear filter cannot be tuned to receive two signals which have different pulsewidth. This requires the application of a tunable delay time device. It is possible to solve the problem

by using the properties of the photoelastic effect [5].

The photoelastic effect is realized in the acousto-optic modulator (AOM) (Figure 2). The AOM consists of a photoelastic medium (PEM) attached to an electroacoustic converter (EAC) [6]. In the AOM can be used glass and crystalline PEM. The EAC converts the electrical signal  $s_{in}(t)$  to an acoustic wave. This acoustic wave interacts with the optical wave in the PEM. As a result, part of the light beam is diffracted.

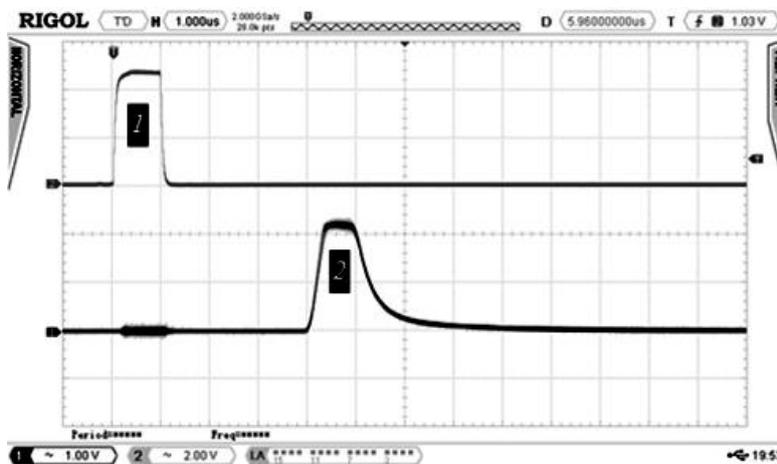
The light beam in the diffraction pattern falls on the photosensitive surface of the photoreceiver device (PD) through the diaphragm.



**Figure 2** – The structure of the acousto-optical delay line

The signal  $s_{out}(t)$  formed at the output of the PD is a copy of the voltage at the input  $s_{in}(t)$  delayed by  $\tau = x_0/v$ , where  $v$  is the propagation velocity of the acoustic wave in the PEM. The propagation velocity of the acoustic wave  $v$  is approximately  $10^5$  times smaller than the propagation velocity of the optical wave. Therefore, it is not difficult to ensure that the output voltage is delayed by several  $10 \mu\text{s}$  compared to the input [7, 8]. The operation of the acousto-optical delay line illustrates in Figure 3. The oscillogram in Figure 3 it was obtained with relevant laboratory model as Figure 2. Here, the pulse formed at the output (Figure 3, 2) is delayed by  $4 \mu\text{s}$  compared to the pulse at the input (Figure 3, 1). The pulsewidth of both signals (it is set at the level of 0.5 of the maximum value) is  $1 \mu\text{s}$ .

It is clear that by changing the distance  $x_0$  from the EAC to the photoelastic interaction area (for example, by electromechanical means), it is possible to adjust the delay time  $\tau$  over a wide range. Therefore, an optimal linear filter realized on the basis of an acousto-optical delay line can be easily tuned to receive pulses with different width, that is, such a filter has wider functional potentiality.



**Figure 3** – The output and input oscillogram of the acousto-optical delay line

## Conclusion

One of the effective means of detecting weak signals from the noise background is the optimal linear filter. The main components of this device is the delay line. In known filters, delay lines providing a fixed time shift are used for this purpose. As a result, it is possible to match the optimal linear filter with only one probing pulse. The application of an acousto-optic delay line, which provides a smoothly adjustable time shift in a large interval, allows to realize an optimal linear filter with wide

functional possibilities. In this case, by smoothly changing the time shift (for example, by mechanical displacement of the photoelastic medium), tuning of the optimal linear filter for receiving an pulse with different parameters is easily ensured.

## Conflict of Interests

The author declares there is no conflict of interests related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. **Kazansky O.V., Kolchigin N.N., Kutzenko A.S.** "Pulse radiolocation by means of two-dimensional antenna arrays," 2008 4th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, Sevastopol, Ukraine, 2008, pp. 177-178. *(in English)*
2. <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/03.atc/karte014.en.html>
3. **Pashayev A.M., Hasanov A.R.** Radiotexniki signallar və dövrlər. - Baki: Milli Aviasiya Akademiyası, – 2005. – 274s. *(in Azerbaijani)*
4. **Reddy D.L., Rao S.V.** "A Novel Design of Matched Filter for Digital Receivers," IJRTE, 2019, vol. 8(3), pp.6000-6003. *(in English)*
5. **Hasanov A.R., Hasanov R.A.** Acousto-optic delay lines for low-frequency and high-frequency electrical signals. *Specialnaja tehnika*, 2013, №1, pp.11-21. *(in English)*
6. **Agayev E.A.** Acousto-optic marker for determining the weight and center of gravity of the aircraft. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. 2021, vol. 13, no. 4, pp. 7-13. *(in English)*
7. **Hasanov A.R., Hasanov R.A.** Acousto-optic communication line. *Optoelectronics Advanced Materials – Rapid Communications*, vol. 11, no. 9-10, September-October 2017, pp. 540-543. *(in English)*
8. **Hasanov A.R., Hasanov R.A., Huseinov A.G, Gusein-Zade B.E.** Phase Inverter with Split Load on Basis of Bragg Diffraction. *Radioelectron.Communications Systems*, 2020, vol. 63 no. 9, pp.497–503. *(in English)*

## **Results of Statistical Security Assessment of Generators Using M-Ary Codes Based on the NIST 802STS Package**

**Kh.N. Rzaev<sup>1</sup>, E.Y. Bagirov<sup>2</sup>, M.F. Mammadov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Azerbaijan Technical University (H.Javid ave. 25, Baku, AZ 1073, Azerbaijan)*

<sup>2</sup> *Fogito Tech ( Baku, Azerbaijan)*

<sup>3</sup> *Cybernet LLC ( Khatai ave. 16, Baku, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Rzaev Xazail / e-mail: xazail49@mail.ru

### **Abstract**

In the article, the research has been carried out on the stability of known algorithms for generating pseudo-random sequences and hashing functions. It is proposed to use the NIST 822STS package to evaluate the statistical security of pseudorandom number generators. The presented results confirm the theoretical results of assessing the resistance of the proposed generators on m-ary codes. The results of a study of the performance of software implementations of generators based on re-dundant block codes and some well-known generators (generator based on FIPS 197, BBS) are pre-sented and showed that the developed algorithms for generating PRN have low computational com-plexity

**Keywords:** statistical stability, pseudorandom number generators using m-ary codes, NIST 822STS package.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_96\_107

**Accepted** 18.04.2023

**Received** 14.12.2023

**Revised** 20.12.2023

### **For citation:**

*Kh.N. Rzaev, E.Y. Bagirov, M.F. Mammadov*

[Results of Statistical Security Assessment of Generators Using M-Ary Codes Based on the NIST 802STS Package]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 96-107 (in Russian)*

## **NIST 802STS paketi əsasında m-lik kodlar üzrə generatorların statistik təhlükəsizliyinin qiymətləndirilməsinin nəticələri**

**X.N. Rzayev<sup>1</sup>, E.Y. Bağırov<sup>2</sup>, M.F. Məmmədov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Azərbaycan Texniki Universiteti (H.Cavid pr. 25, Bakı, AZ1073, Azərbaycan)

<sup>2</sup> Fogito Tech (Bakı, Azərbaycan)

<sup>3</sup> Cybernet MMC ( Xətai pr. 16, Bakı, Azərbaycan)

### **Yazışma üçün:**

Rzayev Xəzail/ e-mail: xazail49@mail.ru

### **Xülasə**

Məqalədə, yalançı təsadüfi ardıcılıqların formalaşmasının məlum alqoritmlərinin, heşləmə funksiyalarının müqavimətinin tədqiqi aparılır. Yalançı təsadüfi ədəd generatorlarının statistik təhlükəsizliyini qiymətləndirmək üçün NIST 822STS paketindən istifadə etmək təklif olunur. Təqdim olunan nəticələr m-lik kodları üzrə təklif olunan generatorların təhlükəsizliyinin qiymətləndirilməsinin nəzəri nəticələrini təsdiq edir. Lazımsız blok kodları və bəzi tanınmış generatorlar (FIPS 197, BBS əsasında generator) əsasında generatorların proqram təminatının tətbiqi sürətinin tədqiqinin nəticələri göstərmişdir ki, hazırlanmış PTƏ generasiya alqoritmləri zəif hesablama mürəkkəbliyinə malikdir.

**Açar sözlər:** statistik dayanıqlıq, m-lik kodlar üzrə psevdo-təsadüfi ədəd generatorları, NIST 822STS paketi.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_96\_107

УДК 003.26

## **Результаты оценки статистической безопасности генераторов на m-ичных кодах на основе пакета NIST 802STS**

**X.N. Rzaev<sup>1</sup>, Ə.Y. Bağırov<sup>2</sup>, M.F. Mammaədov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Azərbaycan Texniki Universiteti (H.Cavid pr. 25, Bakı, AZ1073, Azərbaycan)

<sup>2</sup> Fogito Tech ( пр. Xətai, 16, Bakı, Azərbaycan)

<sup>3</sup> Cybernet MMC (Bakı, Azərbaycan)

### **Для переписки:**

Rzaev Xəzail / e-mail: xazail49@mail.ru

### **Аннотация**

В статье проведено исследования стойкости известных алгоритмов формирования псевдослучайных последовательностей, функций хеширования. Для оценки статистической безопасности генераторов псевдослучайных чисел (ПСЧ) предлагается использовать пакет НИСТ 822STS. Представленные результаты подтверждают теоретические результаты оценки стойкости предлагаемый генераторов на m-ичных кодах. Результаты исследования быстродействия программной реализации генераторов на избыточных блоковых кодах и некоторых известных генераторов (генератор на основе FIPS 197, BBS) показали, что разработанные алгоритмы формирования ПСЧ имеют низкую вычислительную сложность.

**Ключевые слова:** статистическая стойкость, генераторы псевдослучайных чисел на m-ичных кодах, пакет НИСТ 822STS.

## Введение

Одной из основных составляющих оценки стойкости криптографических алгоритмов является оценка его статистической безопасности. Считается, что алгоритм является статистически безопасным, если последовательность, которую он генерирует, по своим свойствам не уступает случайной последовательности. Такие последовательности называются “псевдослучайными”.

**Целью исследования** является повышение алгоритма с использованием “псевдослучайных” чисел.

## Постановка задачи и методика проведения экспериментов

Для экспериментальной оценки того, насколько близко крипто-алгоритмы аппроксимируют генераторы “случайных” последовательностей, используются статистические тесты. Предложенный NIST (Национальным Институтом Стандартов США) пакет тестов NIST STS для тестирования генераторов случайных или псевдослучайных чисел является одним из подходов реализации задачи оценки статистической безопасности криптографических примитивов. Использование данного пакета позволяет с высокой долей вероятности делать выводы относительно того, насколько последовательность, что генерируется исследуемым примитивом, является статистически безопасной. Набор тестов NIST STS был предложен в ходе проведения конкурса на новый национальный стандарт США блочной шифровки в 2000 году и разработан сотрудниками Национального института стандартных технологий. Этот набор использовался для исследований ста-

тистических свойств кандидатов на новый блочный шифр. Методика тестирования, что предложена NIST, является наиболее распространенной у разработчиков криптографических средств защиты информации [1–3]. Порядок тестирования отдельной двоичной последовательности  $S$  имеет следующий вид:

1. Выдвигается нулевая гипотеза  $H_0$  – предположение о том, что данная двоичная последовательность  $S$  случайна.
2. По последовательности  $S$  рассчитывается статистика теста  $c(S)$ .
3. С использованием специальной функции и статистики теста рассчитывается значение вероятности:

$$P = f(c(S)), P \in [0,1].$$

4. Значение вероятности  $P$  сравнивается с уровнем значимости:

$\alpha \in [0.001, 0.01]$ , Если  $P \geq \alpha$ , то гипотеза  $H_0$  принимается. В противном случае принимается альтернативная гипотеза.

Пакет содержит в себе 16 статистических тестов. Но фактически, в зависимости от входных параметров вычисляется 189 значений вероятности  $P$ , которые можно рассматривать как результат работы отдельных тестов. В табл.1 приводятся собранные данные по всем тестам с указанием количества значений, которые вычисляются, вероятности  $P$ , физического содержания статистики теста и дефекта на выявление, которого направлен тест.

Таким образом, в результате тестирования двоичной последовательности формируется вектор значений вероятности. Анализ составляющих этого вектора позволяет указать на конкретные дефекты случайности тестируемой последовательности.

**Таблица 1** – Набор статистических тестов NIST STS  
**Table 1** – NIST STS Statistical Test Suite

№ п/п	Статистический тест	Статистика теста	Выявляемый дефект
1	Частотный (монобитный тест)	Нормализованная абсолютная сумма значений элементов последовательности	Слишком много нулей или единиц в последовательности
2	Частотный тест (в середине блока)	Мера согласованности количества единиц, которые наблюдаются с теоретически ожидаемыми.	Локализованные отклонения частоты появления единиц в блоке от идеального значения $S$
3	Проверка накопленных сумм	Максимальное отклонение значений накопленной суммы элементов последовательности от исходной точки отсчета (точка 0)	Большое количество единиц или нулей в начале или в конце двоичной последовательности
4	Проверка серий	Общее количество серий на всей длине последовательности	Слишком быстрое или слишком медленное изменение знака в ходе генерации последовательности
5	Проверка максимальной длины серии в блоке.	Мера согласованности значений максимальной длины, которые наблюдаются с теоретически ожидаемыми.	Отклонение от теоретического закона распределения максимальных длин серий единиц.
6	Проверка ранга двоичной матрицы	Мера согласованности значения наблюдаемых рангов различного порядка с теоретически ожидаемыми.	Отклонение эмпирического закона распределения значений рангов матриц от теоретического, что указывает на зависимость символов в последовательности.
7	Спектральный анализ на основе дискретного преобразования Фурье	Нормализованная разность количества наблюдаемых частотных компонент с ожидаемыми, превышающими 95% уровень порога	Выявление периодических составляющих (трендов) в двоичной последовательности.
8	Проверка шаблонов, которые перекрываются	Мера согласованности количества наблюдаемых шаблонов, которые перекрываются, в последовательности с теоретическим значением.	Большое количество $m$ -битных серий из единиц в последовательности.
9	Универсальный тест Маурера	Сумма логарифма расстояния между 1-битными шаблонами.	Возможность сжатия последовательности.
10	Энтропийный тест	Мера согласованности наблюдаемого значения энтропии источника с тем, что теоретически ожидается для случайного источника.	Неравномерность распределения $m$ -битных слов в последовательности (регулярность свойств источника)

№ п/п	Статистический тест	Статистика теста	Выявляемый дефект
11	Проверка случайных отклонений	Мера согласованности наблюдаемого количества визитов при случайном блуждании заданное состояние в середине цикла с тем, что ожидается теоретически	Отклонение от теоретического закона распределения визитов в конкретное состояние при случайном блуждании
12	Проверка случайных отклонений (вариант)	Общее количество визитов при случайном блуждании	Отклонение от теоретически ожидаемого общего количества визитов при случайном блуждании в заданное состояние
13	Последовательный тест	Мера согласованности количества наблюдаемых $m$ -битных шаблонов, которые встретились с той, что ожидается теоретически.	Неравномерность распределения $m$ -битных слов в последовательности.
14	Проверка сжатия согласно алгоритму Лемпеля-Зива	Количество в последовательности различных слов	Большая степень сжатия последовательности, что тестируется по уравниванию со степенью сжатия, что ожидается для случайной последовательности.
15	Проверка шаблонов, которые не перекрываются	Мера согласованности наблюдаемого количества непериодических шаблонов в последовательности с теоретическим значением.	Большое количество заданных непериодических шаблонов в последовательности.
16	Проверка линейной сложности	Мера согласованности наблюдаемого количества событий, которые заключаются в появлении фиксированной длины эквивалентного ЛРР для заданного блока с теоретическим.	Отклонение эмпирического распределения длин эквивалентных ЛРР для последовательностей фиксированной длины от теоретического закона распределения для случайной последовательности, что указывает на недостаточную сложность тестируемой последовательности.

В соответствии с методикой решение о прохождении статистического тестирования принимается в случае, если выполняются правила:

1. Правило. Прошло тестирование по всем  $q$  тестам, ( $q=1,189$ ), и если значение коэффициента  $r_j$  находится внутри доверительного интервала  $[0.96, 1.00]$ ;

2. Правило. Прошло тестирование по всем  $q$  тестам, ( $q=1,189$ ), и если для всех тестов по критерию  $\chi^2$ -Пирсона выполняется условие  $P(\chi^2) > 0,0001$ .

Таким образом, предлагаемый пакет позволяет решить актуальную научно-

практическую задачу оценки статистической стойкости ГПСЧ на  $m$ -ичных кодах.

В статье дана оценка статистической безопасности генераторов на  $m$ -ичных кодах на основе пакета NIST 802STS.

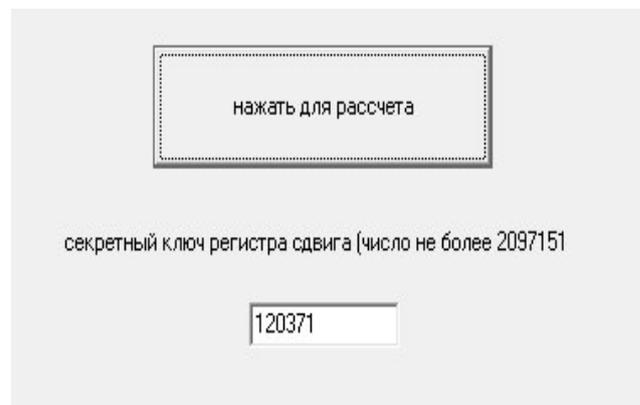
Для проведения экспериментальных исследований свойств разработанных кодовых криптосистем разработана программная реализация предложенных средств защиты информации [1, 7, 8]. Описание программного пакета, реализующего кодовые криптосистемы, приведено в приложении.

При выполнении тестирования выбраны следующие параметры:

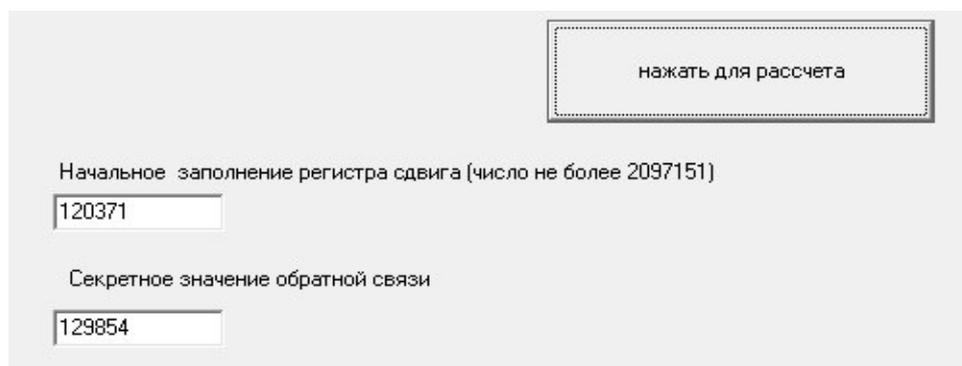
- длина тестируемой последовательности  $n = 10^6$  бит;
- количество тестируемых последовательностей  $m = 100$ . Таким образом, объем тестируемой выборки составил  $N = 10^6 \times 100 = 10^8$  бит;
- уровень значимости  $\alpha = 0.01$ ;
- количество тестов  $q = 189$ .

Разработка программной реализации ГПСЧ с использованием предложенных методов позволяет провести статистические исследования стойкости, а также сформировать библиотеки для их практического использования. На рис. 1 и 2 представлены скриншоты предлагаемых подходов построения генераторов на  $m$ -ичных кодах

без обратной связи и с обратной связью. Начальные значения регистра сдвига и значения обратной связи представляют собой числа не более  $2^{21}-1$ , так как используется регистр сдвига по модулю примитивного многочлена  $g(x) = x^{21} + x^2 + 1$ . Регистр сдвига не может быть равен 0, в связи с невозможностью его работы. С использованием разработанной программной реализации предложенных генераторов ПСЧ [4–6] проведём экспериментальные исследования статистической безопасности по методике NIST STS, а также выполним сравнительные исследования с известными генераторами.

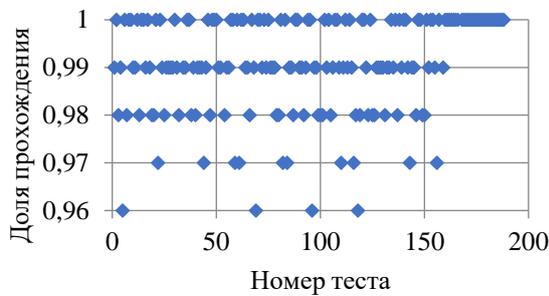


**Рисунок 1** – Программная реализация генератора на  $m$ -ичных кодах без обратной связи  
**Figure 1** – Software implementation of the generator on  $m$ -ary codes without feedback

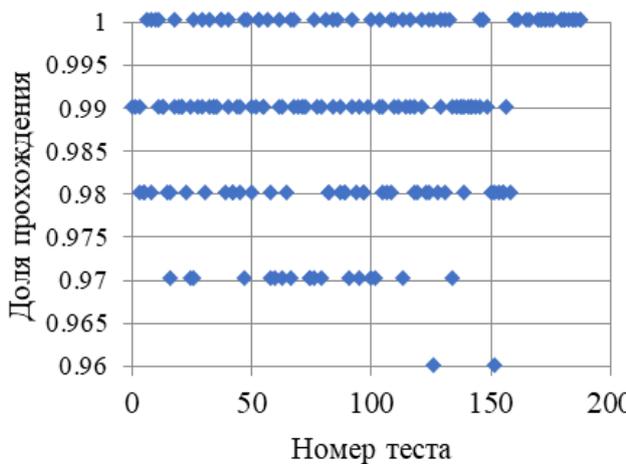


**Рисунок 2** – Программная реализация генератора на  $m$ -ичных кодах с обратной связью  
**Figure 2** – Software implementation of the generator on  $m$ -ary codes with feedback

На рис. 3, 4 представлены статистические портреты исследуемых генераторов на  $m$ -ичных кодах.



**Рисунок 3** – Статистический портрет генератора на избыточных блоковых кодах без обратной связи  
**Figure 3** – Statistical portrait of the generator on redundant block codes without feedback



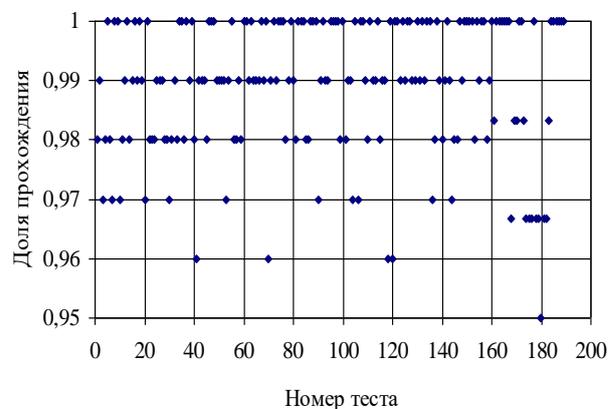
**Рисунок 4** – Статистический портрет генератора на избыточных блоковых кодах с обратной связью  
**Figure 4** – Statistical portrait of the generator on redundant block codes with feedback

На рис. 5-13 представлены статистические портреты некоторых известных генераторов (на основе алгоритма SHA-1, линейный конгруэнтный генератор, генератор Микали-Шнора, квадратичный конгруэнтный генератор, генераторы на основе алгоритмов DES и 3-DES (тройного DES), гене-

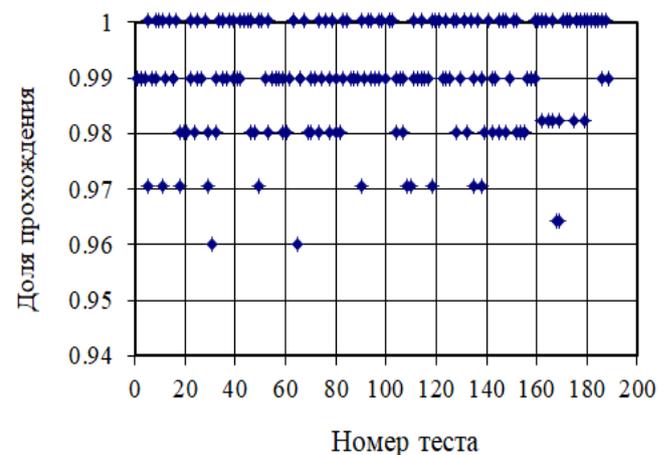
ратор BBS, G using DES, доказуемо стойкий генератор GPSSD на избыточных кодах (использованный в диссертационной работе как метод-прототип)).

Таким образом, в результате тестирования двоичной последовательности формируется вектор значений вероятности.

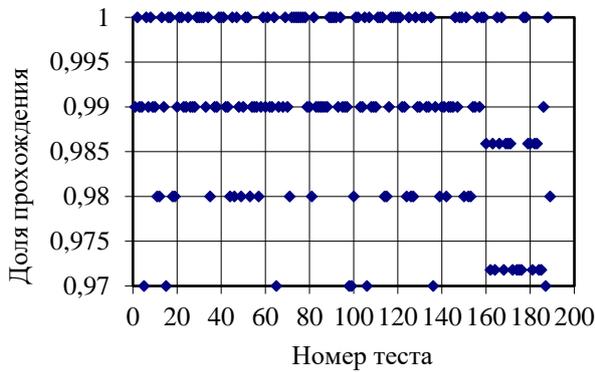
Анализ составляющих этого вектора позволяет указать на конкретные дефекты случайности тестируемой последовательности.



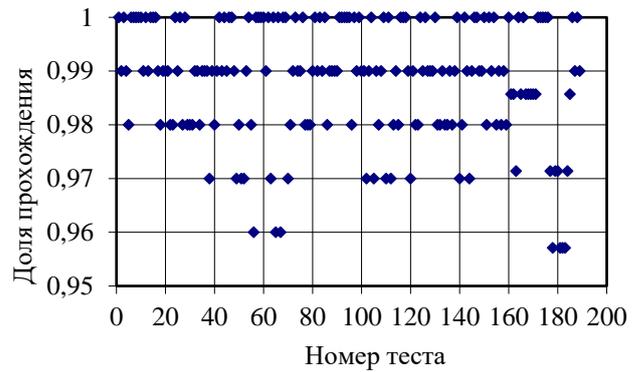
**Рисунок 5** – Статистический портрет генератора на основе алгоритма SHA-1  
**Figure 5** – Statistical portrait of the generator based on the SHA-1 algorithm



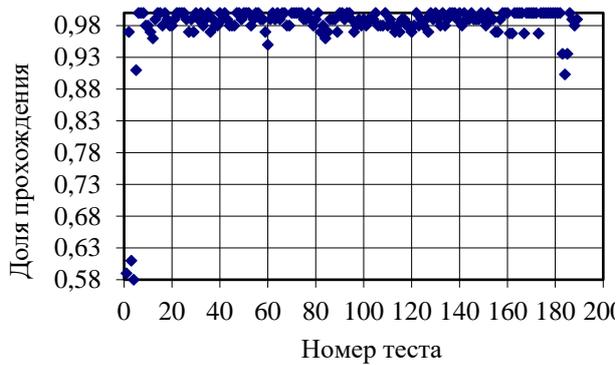
**Рисунок 6** – Статистический портрет линейного конгруэнтного генератора  
**Figure 6** – Statistical portrait of a linear congruential generator



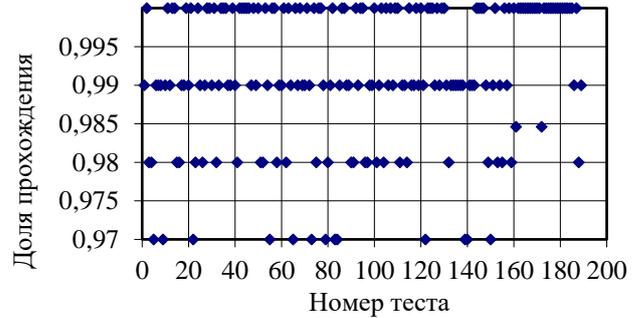
**Рисунок 7** – Статистический портрет генератора Микали-Шнора  
**Figure 7** – Statistical portrait of the Mikali-Shnor generator



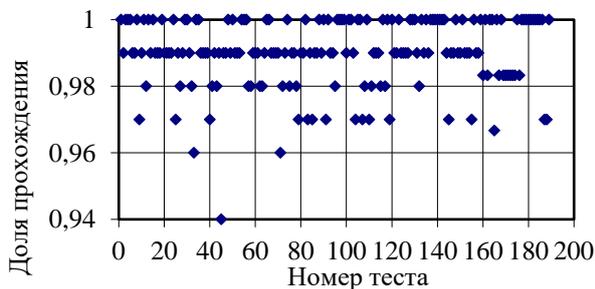
**Рисунок 10** – Статистический портрет генератора на основе алгоритма 3-DES  
**Figure 10** – Statistical portrait of the generator based on the 3-DES algorithm



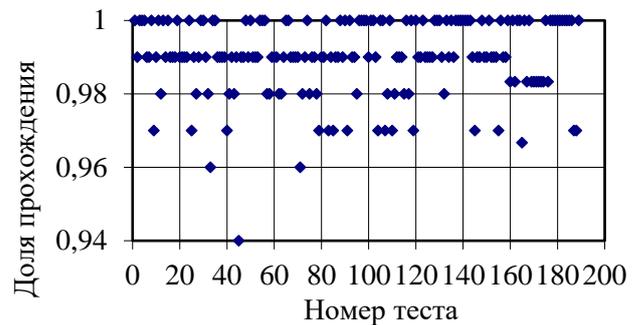
**Рисунок 8** – Статистический портрет квадратичного конгруэнтного генератора  
**Figure 8** – Statistical portrait of a quadratic congruential generator



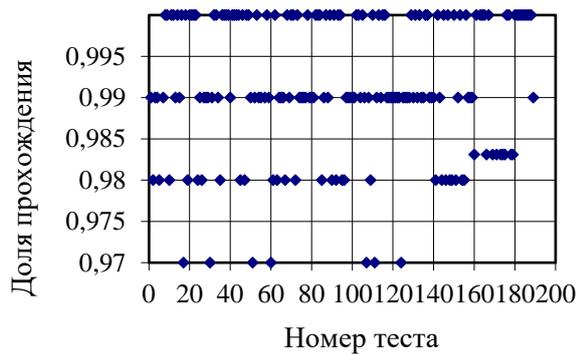
**Рисунок 11** – Статистический портрет генератора BBS  
**Figure 11** – Statistical portrait of the BBS generator



**Рисунок 9** – Статистический портрет генератора на основе алгоритма DES  
**Figure 9** – Statistical portrait of the generator based on the DES algorithm



**Рисунок 12** – Статистический портрет генератора G using DES  
**Figure 12** – Statistical portrait of the generator G using DES



**Рисунок 13** – Статистический портрет доказуемо стойкого генератора на избыточных кодах (метод-прототип)

**Figure 13** – Statistical portrait of a provably stable generator on redundant codes (prototype method)

Анализ приведенных данных показывает, что статистические портреты предложенных генераторов на избыточных блоковых кодах не уступают по своим свойствам лучшим известным генераторам. Так, для сформированных ПСЧ нет статистических тестов, которые были бы пройдены с вероятностью ниже 0,96. Основная часть тестов пройдена с очень высокой вероятностью, близкой к 1. Окончательные результаты тестирования по методике NIST STS сведены в табл. 2, в которой приведены количества (доля) тестов, в которых тестирование прошло с вероятностью  $\geq 0,99$ ;  $\geq 0,96$  и  $< 0,96$ .

**Таблица 2** – Результаты сравнительных исследований статистической безопасности предложенных и некоторых известных генераторов

**Table 2** – Results of comparative studies of the statistical safety of the proposed and some known generators

№ п/п	Генератор псевдослучайных чисел	Количество тестов, в которых тестирование прошло М последовательностей (%)		
		$M \geq 99\%$	$M \geq 96\%$	$M < 96\%$
1	G using SHA-1	122(65%)	188 (99,5%)	1 (0,5%)
2	Linear Congruential	139 (74%)	189 00%)	–
3	Micali-Schnorr	130 (69%)	189 00%)	–
4	Quadratic Congruential	124 (66%)	181 (96%)	8 (4%)
5	G using DES	142 (75%)	188 (99,5%)	1 (0,5%)
6	ANSI X9.17 (3-DES)	121 (64%)	187 (98%)	4 (2%)
7	BBS	134 (71%)	189 00%)	–
8	G using DES	142 (75%)	188 (99,5%)	1 (0,5%)
9	GPSSD (метод-прототип)	140 (74%)	189 00%)	–
10	Усовершенствованный генератор на избыточных блоковых кодах	140 (74%)	189 00%)	–
11	Предложенный генератор на избыточных блоковых кодах с повышенной длиной периода	142 (75%)	189 (100%)	–

Анализ результатов тестирования, сведенных в табл. 2., показывает, что предложенные генераторы на избыточных блоковых кодах обладают улучшенными пока-

зателями статистической безопасности. Они имеют одно из наибольших число (долю) тестов, прошедших по наиболее жесткому критерию с вероятностью  $\geq 0,99$  и не

уступают таким известным генераторам как генератор BBS и национальный алгоритм шифрования США в режиме счетчика.

В табл. 3 приведены результаты экспериментальной оценки быстродействия разработанной программной реализации ГПСЧ на  $m$ -ичных кодах и сравнительные

исследования с программными реализациями известных генераторов. Экспериментальная оценка проводилась с фиксацией времени формирования ПСЧ – 1 сутки, замерялась длина сформированной последовательности, после чего рассчитывалось среднее время формирования ПСЧ.

**Таблица 3** – Результаты сравнительных исследований быстродействия предложенных и некоторых известных генераторов

**Table 3** – Results of comparative studies of the performance of the proposed and some well-known generators

Генератор псевдослучайных чисел	Быстродействие генератора	
	Абсолютное значение	Относительное значение
BBS	$3,6 \cdot 10^2$ бит/с	219444
FIPS 197	$7,9 \cdot 10^7$ бит/с	1
Micali-Schnorr	$1,1 \cdot 10^5$ бит/с	718
GPSSD (метод-прототип)	$3,29 \cdot 10^7$ бит/с	2,4
Усовершенствованный генератор на избыточных блоковых кодах	$2,96 \cdot 10^7$ бит/с	2,7
Предложенный генератор на избыточных блоковых кодах с повышенной длиной периода	$2,86 \cdot 10^7$ бит/с	2,8

Конкретная программная реализация ГПСЧ носит субъективный характер и не может служить объективной оценкой их быстродействия. В тоже время, сравнительные оценки быстродействия нескольких генераторов, реализованных одним программистом на одной вычислительной платформе с использованием одной среды разработки, могут претендовать на объективность. С целью адекватного сравнения быстродействия программной реализации исследуемых генераторов в последней графе таблицы приведены относительные оценки, полученные через отношение максимальной производительности и искомой производительности рассматриваемого генератора. Минимальное значение относительной оценки равно 1 и соответствует наиболее быстрому генератору. Увеличение относительной оценки соответствует

снижению быстродействия по сравнению с самым быстрым генератором. Собственное значение относительной оценки соответствует коэффициенту пропорционального снижения быстродействия рассматриваемого генератора (по сравнению с наиболее быстрой реализацией).

Как следует из приведенных в табл. 3 значений наибольшую производительность показал генератор на основе алгоритма шифрования FIPS 197 (национальный алгоритм шифрования США). Вторым по показателям быстродействия является доказуемо стойкий генератор на основе избыточных блоковых кодов (генератор GPSSD), используемый в данной работе в качестве метода-прототипа. Снижение быстродействия по сравнению с FIPS 197 составило 2,4 раза, что объясняется увеличением числа выполняемых операций над формируе-

мой последовательностью в цепи обратной связи. Следующий (третий) по быстрдействию оказался усовершенствованный генератор. Он медленнее FIPS 197 в 2,7 раза и практически сопоставим по быстрдействию с генератором GPSSD. Несколько уступает по быстрдействию предложенный генератор на избыточных блоковых кодах с повышенной длиной периода, он медленнее FIPS 197 в 2,8 раза. Значительно худший результат показал генератор BBS, который практически на 4 порядка медленнее рассмотренных выше генераторов. Подобная низкая вычислительная эффективность генератора BBS объясняется сложностью применяемого математического аппарата.

Достоверность полученных результатов и сделанных выводов подтверждается сходимостью теоретических расчетов с результатами эксперимента. Так, в разделе 3 показано, что при длине периода  $L = 100 - 200$  разработанные алгоритмы формирования ПСЧ требуют выполнения от 1,5 до 2,5 операций на один формируемый бит ПСЧ. В тоже время известно, что для реализации алгоритма шифрования FIPS 197 (без учета времени разворачивания ключей) необходимо затратить около 4 операций на одно 32 битное слово (на одном раунде). При минимальном числе раундов 10 алгоритм FIPS 197 потребует около 1,25 операций на один формируемый бит. Таким образом, с учетом работы алгоритма разворачивания ключей генератор на основе FIPS 197 и предложенные генераторы обладают сравнимой вычислительной сложностью.

Таким образом, как показали проведенные исследования, предложенные мето-

ды формирования ПСЧ на основе избыточных блоковых кодов обладают высокой эффективностью: по своим криптографическим свойствам и быстрдействию они не уступают лучшим мировым аналогам, описываются моделью доказуемой стойкости, легко реализуются в программном и аппаратном виде.

### **Заключение**

Проведенные экспериментальные исследования стойкости рассматриваемых генераторов показали, что генераторы на избыточных блоковых кодах обладают улучшенными показателями статистической безопасности. Они имеют одно из наибольших число (долю) тестов, прошедших по наиболее жесткому критерию с вероятностью  $\geq 0,99$  и не уступают таким известным генераторам как генератор BBS и национальный алгоритм шифрования США в режиме счетчика. Исследования быстрдействия программной реализации генераторов на избыточных блоковых кодах и некоторых известных генераторов (генератор на основе FIPS 197, BBS) показали, что разработанные алгоритмы формирования ПСЧ имеют низкую вычислительную сложность. Быстрдействие формирования ПСЧ предложенными генераторами составляет  $10^7 - 10^8$  бит/с, что сопоставимо с быстрдействием наиболее быстрых блочных симметричных шифров (FIPS 197).

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## REFERENCES

1. **Rukhin, and J. Soto.** A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications. NIST Special Publication 800-22, 09.2000, 164 p. (*in English*)
2. **Serhii Yevseiev, Oleksandr Milov, Ivan Opriskyy, Olha Dunaievska, Oleksandr Huk, Volodymyr Pogorelov, Kyrylo Bondarenko, Nataliia Zviertseva, Yevgen Melenti, Bogdan Tomashevsky.** Development of concepts for the cyber security metrics classification. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4/4 (118). 2022. P. 6–18. (*in English*)
3. **Serhii Yevseiev, Khazail Rzaev, Oleksandr Laptiev, Ruslan Hasanov, Oleksandr Milov, Bakhar Askerova, Zhala Jamalova, Serhii Pohasii.** Development of a hardware cryptosystem based on a random number generator with two types of entropy sources. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. 5/9 (119). P. 6–16. (*in English*)
4. **Yevseiev S.P., Rzaev H.N, Korolov R.V., Mamedov M., Bagirov E.** Generator psevdovipadkovih chisel na m-ichnih kodah. HI mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya “Matematika. Informacijni tekhnologii. Osvita”. Luc'k-Svityaz', 3–5 chervnya 2022. S. 70. (*in Ukrain*)
5. **R. Korolov, M. Mamedov, E. Bagirov.** Rozrobka vdoskonalenogo metodu formuvannya psevdovipadkovih chisel na osnovi nadlishkovih m-ichnih kodiv. V Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya “Problemi kiberbezpeki informacijno-telekomunikacijnih si-stem” (PCSITS)”14–15 kvitnya 2022, Kiiiv, Ukraïna. S. 11–13. (*in Ukrain*)
6. **R. Korolov, A. Tkachov, N. Voropay, M. Mammadov, E. Baghirov.** Development of an improved method for forming pseudorandom numbers based on redunte m-ary codes. Sistemi obrobki informacii, 2022, v 1 (168), R.11–13. (*in English*)
7. **Korolov R.V.** Doslidzhennya periodichnih vlastivostej generatoriv psevdovipadkovih chisel, zasnovanih na vikoristanni nadmirmih kodiv / R.V.Korolov // Sistemi ozbroennya i vijskova tekhnika. – 2008. – №3(15). – S. 126 – 128. (*in Ukrain*)
8. **Rzaev H.N., Gasanov R.A.** Analiz protokolov bezopasnosti i dostovernosti v perspektivnyh sistemah predostavljeniya uslug svyazi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, cild 8, № 4, Bakı, 2016, str.83-98. (*in Russian*)

## **Extraction of Gold from Sulfide and Sulfide-Polymetallic Ores from the Lok-Garabagh Structural-Formational Zone of the Lesser Caucasus**

**G.S. Guseynov, I.A. Mamedov, L.T. Teymurzade**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ 1010, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Teymurzade Laman / e-mail: lemanteymurzade@gmail.com

### **Abstract**

As a result of studying the size of gold particles, it was found that the ores of the Gedabek deposit contain both finely dispersed and coarser gold. Finely dispersed gold is extracted from ores by heap leaching, and coarser gold by flotation. When studying polished sections, it was found that free and bound gold is associated with the surrounding sulfide minerals - pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite. In the Gyzybulag deposit, the size of gold is larger - 0.015-0.02 mm. Such gold is extracted from ores by the method of flotation and gravity. The deposit contains quartz-pyrite-chalcopyrite, quartz-chalcopyrite and chalcopyrite-sphalerite mineral associations. Of these, quartz-chalcopyrite is more productive for gold. The Goshinsky gold deposit is usually found in early pyrite in a finely dispersed state (0.001-0.1 mm) and is extracted from ores by agitation cyanidation. Dagkesaman deposit gold size varies within 0.001-0.025 mm extraction of gold from pyrite-polymetallic ores by gravity.

**Key words:** pyrites, gold, native gold, flotation, granulometric composition.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_108\_118

**Received** 02.06.2023

**Revised** 13.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

### **For citation:**

*Guseynov G.S., Mamedov I.A., Teymurzade L.T.*

[Extraction of Gold from Sulfide and Sulfide-Polymetallic Ores from the Lok-Garabagh Structural-Formational Zone of the Lesser Caucasus]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 108-118 (in English)*

## **Lok-Qarabağ struktur-formasion zonasında olan kolçedan və kolçedan-polimetal yataqlarının filizlərindən qızılın ayrılması**

**Q.S. Hüseynov, İ.A. Məmmədov, L.T. Teymurzadə**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq prospekti 16/21, Bakı AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Teymurzadə Ləman / e-mail: lemanteymurzade@gmail.com

### **Annotasiya**

Qızıl hissəciklərinin ölçülərinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Gədəbəy yatağının filizlərində həm incə dispers, həm də daha iri dənəli qızıl zərrəcikləri mövcuddur. İncə dispers qızılın filizdən ayrılmasında topa aşınma üsulundan istifadə olunur. Cıllanmış anşlifləri öyrənərkən müəyyən edilmişdir ki, sərbəst və əlaqəli qızıl sulfid mineralları - pirit, xalkopirit, arsenopirit ilə assosiasiyada olur. Qızılbulaq yatağında qızılın ölçüsü daha böyükdür - 0,015-0,02 mm. Qeyd edilən yatağın filizindən qızılın filizdən ayrılmasından flotasiya və qravitasiya üsulu ilə filizdən ayrılır. Yataqda kvars-pirit-xalkopirit, kvars-xalkopirit və xalkopirit-sfalerit mineral assosiasiyaları ayrılmışdır. Bu assosiasiyalardan qızıl üçün kvars-xalkopirit daha məhsuldar hesab olunur. Qoşa yatağında qızıl adətən ilkin piritdə incə dispers halında (0,001-0,1 mm) olduğundan filizdən sianitləşmə üsulu ilə çıxarılır. Dağkəsəmən yatağının qızılının ölçüsü 0,001-0,025 mm daxilində dəyişir, kolçedan-polimetal filizindən qızılın çıxarılması qravitasiya üsulu ilə həyata keçirilir.

**Açar sözlər:** kolçedan, qızıl, sərbəst qızıl, flotasiya, qranulometrik tərkib.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_108\_118

УДК 622.342

## **Извлечение золота из руд колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений Лок-Гарабахской структурно-формационной зоны Малого Кавказа**

**Г.С. Гусейнов, И.А. Мамедов, Л.Т. Теймурзаде**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Теймурзаде Ламан / e-mail: lemanteymurzade@gmail.com

### **Аннотация**

В результате изучения размеров частиц золота установлено, что в рудах Гедабекского месторождения присутствует как тонкодисперсное, так и более крупное золото. Тонкодисперсное золото извлекается из руд методом кучного выщелачивания о более крупное методом флотации. При изучении аншлифов установлено, что свободное и связанное золото ассоциируется с окружающими сульфидными минералами – пиритом, халькопиритом, арсенопиритом. В Гызылбулагском месторождении размеры золота более крупные – 0,015-0,02 мм. Такое золото извлекается из руд методом флотации и гравитации. На месторождении имеются кварц-пирит-халькопиритовая, кварц-халькопиритовая и халькопирит-сфалеритовая минеральные ассоциации. Из них более продуктивная на золото кварц-халькопиритовая. На Гошинском месторождением золото обычно находится в раннем пирите в тонкодисперсном состоянии (0,001-0,1 мм) и извлекается из руд методом агитационного цианирования. Размеры золота Дагкесаманского месторождения варьируют в пределах 0,001-0,025 мм, извлечение золота из колчеданно-полиметаллических руд происходит методом гравитации.

**Ключевые слова:** колчедан, золота, самородного золота, флотация, гранулометрический состав.

## **Introduction**

The Lok-Garabagh structural-formational zone (SFZ) occupies the northeastern part of the Lesser Caucasus and covers certain ore regions in the territory of Azerbaijan, where a number of gold-bearing deposits of pyrite formations - Gedabek, Gyzybulag, Gosha and Dagkesaman are located.

As it is known, the effective extraction of gold from gold-bearing pyrite deposits of significant change depends on a number of its typological and morphological features, including the size of gold particles (granulometric composition), gold-bearing mineral associations and occurrence forms.

Taking into account the above, based on our own factual materials and mineralogical studies the granulometric composition and gold-bearing mineral associations, have been studied which are of great practical importance in the extraction of gold from the ores of the described deposits. The results obtained give us the opportunity to choose the right technological scheme for the extraction of gold from ores of pyrite and pyrite-polymetallic deposits of this structural-formational zone.

As it is known, the particle size of gold in ores varies from fractions of a millimeter to tens, rarely larger. Its size depends on a number of factors: the amount of gold carried by gold-bearing solutions to the place of their discharge, the composition of solutions, the physicochemical conditions of gold deposits, etc.

At the Gedabek deposit, it has been found out that the size of gold varies over a wide range from finely dispersed to coarser. Finely dispersed gold, having a dimension of 0.01-0.005 mm, is not captured under a

microscope, even in an electron microscope with its maximum magnification, its determination is difficult. Only analytical studies allowed to reveal its presence in quartz-pyrite types of ores. Currently, gold is extracted from the named ores of the Gedabek deposit using the heap leaching method.

Larger gold is noted in the pyrite-chalcopyrite-sphalerite association, which is productive for gold. The sizes of native gold here are variable and range from 0.01-0.3 mm. This is probably due to the redeposition and enlargement of fine and finely dispersed gold found in ores of the early quartz-pyrite association [2]. Native gold of this size (0.01-0.3 mm) is easily captured by gravity and flotation.

Gold taken from samples of various types of ores is characterized by larger segregations (0.01-2.5 mm, in some cases up to 3.0 mm).

Thus, as a result of studying the size of gold particles, it has been determined that both finely dispersed and relatively coarse gold are present in the ores of the Gedabek deposit. This is, apparently, explained by the non-simultaneous formation of the main masses of gold particles and its participation in various mineral parageneses [4]. These large segregations of gold are extracted from various types of ores by the flotation method.

Gold-bearing mineral associations. The study of the mineral association of gold with the surrounding sulfide minerals is of great practical importance when extracting it from gold-bearing sulfide ores, and is also important for developing search criteria for these deposits. As it is known [4], the dominant mineral associations of gold in all genetic types are associated with sulfides and quartz, where gold is usually xenomorphic.

When studying polished sections made from primary and oxidized ores, it was determined that free and bound gold associates with the surrounding sulfide minerals - pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, chalcocite.

The data obtained are also confirmed as a result of rational analysis.

Thus, as a result of this analysis, it was found out in the ores of the Gedabek deposit, the predominant amount of gold is in the free state (43.0%) and in intergrowths with late sulfide minerals (pyrite, chalcopyrite) 45.3%. The content of gold in iron hydroxides and sulfide minerals is low (4.8 and 6.6%, respectively), and in quartz - 0.3% (Table 1).

**Table 1** – Results of phase analysis of noble metals (according to A.Z. Akhmedov, A.V. Shibaeva 2015)

№	Forms of finding precious metals	Absolute content, g/t		Distribution in ore, %	
		Au	Ag	Au	Ag
1	Free with clean surface	4,25	2,52	43,0	8,3
2	In intergrautes with an open surface	4,48	3,32	45,3	10,9
3	Contained in iron hydroxides and carbonates	0,47	18,85	4,8	62,0
4	Contained in sulfide minerals	0,65	5,08	6,6	16,7
5	Contained in quartz	0,03	0,64	0,3	2,1
Total:		9,88	30,41	100	100

The studied ore, after the removal of free gold from it by gravity processes (settlement, enrichment at locks), can be directed to flotation enrichment. Since the ore contains gold embedded in sulfides (about 6.6%), flotation allows such sulfides to be extracted into a concentrate. For the processing of tailings of gravity and flotation concentration of gold ores, well-known methods of heap leaching can be used.

In general, considering the high content of cyanidable gold, it can be assumed that the most effective technological method for its extraction is agitation leaching with weak solutions of cyanide salt.

Granulometric composition of gold of the Gyzybulag deposit. The sizes of gold grains from the ores of the Gyzybulag deposit have been studied from observations in polished sections and the largest weight from

samples of crushed ores. It has been determined established that in polished sections the dimension of gold ranges from 0.015 mm to 0.02 mm. Considering that the probability of detecting large particles in polished sections is low, it can be assumed that the given sizes deviate from the average ones to a smaller side and the average statistical sizes of gold are actually 0.04-0.05 mm (taking into account the data obtained from the samples). The particle size of gold extracted from ore samples ranges from 0.1 to 2.0 mm or more. These dimensions, of course, are not fully representative, since the smallest particles are not removed during crushing and washing.

The obtained results on the granulometric composition of native gold can be used when choosing a technological

scheme for extracting gold from the gold-bearing ores of the Gyzybulag deposit.

Gold-bearing mineral associations. In the composition of the ores of gold and gold deposits, mineral communities of different times (paragenesis) are established, representing equilibrium groups of minerals that arise under certain narrow physicochemical conditions of an intermittent staged process of ore deposition [3].

The Gyzybulag deposit has the following stages of mineralization: quartz-pyrite-chalcopyrite, quartz-chalcopyrite and chalcopyrite-sphalerite. All named mineral associations are gold-bearing. However, the degree of gold content is different, more productive for gold is quartz-chalcopyrite. As a result of mineralogical studies, it was determined that at this stage of mineralization, gold is located inside chalcopyrite, as well as in intergrowths with basic sulfide minerals.

**Table 2** - The results of the phase analysis of the of the Gyzybulagskoe deposits ores (according to A.Z. Akhmedov and I.I. Rychkov, 1988)

№	The form of finding gold and silver	Distribution in % rel.		True content, g/t	
		Au	Ag	Au	Ag
1	Free gold with clean surface	17,2	1,8	0,78	0,12
2	Inter growth of gold, silver sulfides	67,2	28,6	3,05	1,87
3	Gold and silver in iron hydroxides	7,0	4,3	0,32	0,28
4	Gold and silver embedded in sulfide minerals	5,1	62,1	0,23	4,07
5	Gold and silver in silicates and quartz	3,5	3,2	0,16	0,21
Total:		100,0	100,0	4,54	6,55

As at can be seen from the table, according to the phase analysis with sulfides, there is about 67% of gold, 17.2% is free gold, extracted by amalgamation 7.0% in iron hydroxides, 5.1% is contained in sulfide minerals, only 3.5% of gold It is enclosed in silicates and quartz and is not opened when the ore is crushed to 0.074 mm.

It should be mentioned that in the Gyzybulag deposit, a small part of gold may be in a finely dispersed form, or partially in a chemically bound state in chalcopyrite. As is known, early generation is constantly present in pyrite deposits, represented by fine particles dispersed in pyrite and arsenopyrite.

The granulometric composition of native gold from the Goshinsky deposit was studied using sieve analysis and in polished sections made from primary and oxidized ores, as well as from the oxidation zone.

As it a result of sieve analysis, it was found that in the ores of the Gosha deposit, the granulometric composition of native gold is very variable (0.05-0.2 mm) in both primary and oxidized ores enriched in gold.

In quartz-pyrite ores of this deposit, gold is usually found in early pyrite in a finely dispersed state (0.001-0.01 mm), which is easily involved in the cycles of chemical dissolution, migration and redeposition in ores

and rocks. Relatively large segregation of gold is noted in quartz-gold-telluride types of ores (from 0.001-0.03 mm), where gold is closely associated with late sulfides, including hessite. Gold, in the oxidation zone, is characterized by relatively large sizes (0.01-0.065 mm). The enlargement of gold grains may be due to the redeposition of finely dispersed gold from sulfides of the early association.

According to the researchers [5], mechanical enrichment methods can be quite effectively used for the primary ores of this deposit and the larger gold associated with late sulfides is easily captured during gravity enrichment, and combined technologies, including, along with mechanical, hydrometallurgical methods of opening raw materials should be used for oxidized ores, which are hard-to-enrich mineral raw materials.

Gold-bearing mineral associations. One of the important factors for the technological evaluation of gold ores is the location and nature of the association of gold with various sulfide minerals that make up these ores. The locations of gold in the described deposit are different: finely dispersed, free, bound (in aggregates). As noted above, it is impossible to detect finely dispersed gold in pyrite from quartz-pyrite types of ores under a microscope. However, semi-quantitative spectral analysis in the monomineral fraction of pyrite revealed the presence of gold from 0.8 to 2.0 g/t. At the same time, individual samples are characterized by higher contents (10.0-12.0 g/t). Apparently, this is due to the presence of later superimposed gold in some pyrite crystals. The results obtained suggest

that early pyrite contains gold and it is in a finely dispersed state.

The studies carried out made it possible to obtain new objective data confirming the idea that submicroscopic gold is found in pyrite in a finely dispersed state. The results of technological research can be of great practical importance for the development of new rational schemes for the extraction of dispersed gold from quartz-pyrite concentrates. The results of the conducted studies suggest that gold in this field was deposited as part of mineral associations of all stages of mineralization, and its largest amount is related to with the initial stages of ore formation. Here, finely dispersed and binely visible gold was deposited during pyrite crystallization. Gold of the late association has a sharply subordinate significance and is accompanied by hessite-petzite aggregates. The data obtained are consistent with the results of phase analysis of the ores of the Gosha deposit. Thus, according to the data of phase analysis [14], 59.7% of gold in the ores of this deposit, is in easily accessible aggregates, 11.9% in iron hydroxides (goethite, hydrogoethite), and a small amount (6.0%) in sulfide minerals and 4.5% in quartz (Table 3). Table. 3 indicates that gold in the primary ores of this deposit is largely represented by easily accessible forms, which make it possible to ensure relatively high rates of their extraction by mechanical enrichment methods. Thus, the nature of the ores, the intergrowth of gold with late sulfides, and the occurrence of microcracks in quartz and pyrite testify to the superposition and later manifestation of gold mineralization in the Gosha deposit.

**Table 3** - Results of phase analysis of gold and silver of Gosha deposits (according to A.Z. Akhmedov et al., 2002)

№	Form of finding gold and silver	Distribution in % rel.		True content in g/m	
		Au	Ag	Au	Ag
1.	Free with a clean surface	17,9	23,7	2,4	9,2
2.	Growth gold, silver sulfides	59,7	51,5	8,0	20,0
3.	Gold and silver in iron hydroxides	11,9	6,7	1,6	2,6
4.	Gold and silver enclosed in sulfide minerals	6,0	11,9	0,8	4,6
5.	Gold and silver in silicates and quartz	4,5	6,2	0,6	2,4
TOTAL:		100	100	13,4	38,8

Granulometric composition of native gold of the Dagkesaman deposit. It is known that the size of gold is one of the main factors determining the technological scheme for processing gold-bearing ore. Therefore, the study of the granulometric composition of native gold is of great practical importance. Thus, relatively large gold is released from other minerals during ore grinding, and the resulting free gold particles are easily captured during gravitational enrichment. Fine free gold floats well and quickly dissolves during cyanidation, but is almost not recovered during gravity enrichment. Finely dispersed gold, associated in most cases with sulfides, is only slightly revealed during ore grinding. Therefore, its bulk remains in mineral carriers, most often in pyrite and arsenopyrite. Ores containing such gold, as noted above, belong to the category of refractory and are processed by special methods [4].

When studying the granulometric composition of native gold, polished thin sections, as well as primary and oxidized ores

(from sample mills) were used. It has been established that gold in primary ores is very fine. Its dimensions vary within 0.001-0.025 mm. In comparison with the latter, the gold grains found in the ore crushing sample are larger - 0.01-0.3 mm, less often up to 1.0 mm.

As it is known [1], in gold-polymetallic deposits, gold has later segregations and is intergrown with the main late sulfide minerals and less often with quartz, and also observed in cracks among previously formed minerals along the surface of their crystals and intergranular spaces. So, during the mineralogical study of the ores of this deposit, it was found that gold is also intergrown with sphalerite and quartz.

Gold is intergrown with galena and sphalerite in chalcopyrite. The results obtained showed that a large amount of gold was released from solutions in the form of free and bound (in intergrowths with late sulfide minerals) in the Dagkesaman deposit. These data are consistent with the results of phase analysis [6].

**Table 4** - The results of the phase analysis of finding gold in the average sample (according to S.S. Aktaeva, 1984)

Forms of finding gold	Distribution, Au, Ag %		Au content, Ag g/t	
	Au	Ag	Au	Ag
Gold-free, amalatable	36,2	39,3	3,4	0,22
Gold intergrown with sulfides and quartz-cyanided	51,0	48,5	4,6	3,7
Gold intergrown with sulfides and quartz, coated with films in Fe and Mn hydroxides	12,8	12,2	1,2	0,18
TOTAL:	100	100	9,2	4,1

**Table 5** - Granulometric composition and gold-bearing associations of native gold

Gold-copper-pyrite	Gold-quartz-copper-pyrite	Gold pyrites	Gold pyrite polymetallic
Place of Birth			
Gedabek	Gizilbulag	Gosha	Dagkesaman
Granulometric composition, mm			
In polished sections: 0.001-0.03, In samples-milled ores: 0.01-2.0. Finely dispersed gold dominates	In polished sections: 0.14-0.2. In samples-milled ores: 0.08-2.0. Fine and fine gold predominates	In polished sections: 0.001-0.01 In samples-mills of ores: 0.1-0.063. Pulverized-finely dispersed gold dominates	In polished sections: 0.01-0.05 In samples-mills of ores: 0.01-0.25; less than 2.5. Powdered gold
Gold-bearing mineral associations			
The main one is pyrite-chalcopyrite sphalerite. Minor-quartz-pyrite-pyrite with fine gold	The main-quartz-chalcopyrite - sphalerite. Unproductive - quartz-pyrite with finely dispersed Gold	The main one is quartz-gold-telluride and quartz-gold-goethite-hydrogoethite. Unproductive-quartz-pyrite with fine gold	The main one is sulfide-polymetallic with galena. Unproductive - quartz-pyrite with finely dispersed gold

The table shows that in the analyzed sample, free gold is 36.2%, and gold in easily accessible aggregates is 51.0%, while the rest,

approximately 12.8%, are in hard-to-reach sulfides (in pyrite, arsenopyrite) and quartz.

As it is presented in Table 5, the granulometric composition of native gold in

the ores of the described deposit is very variable 0.001-0.2 mm.

The typomorphic features of native gold determined, which are characteristic of ores of pyrite and pyrite-polymetallic deposits of this region, make it possible to evaluate and determine the most rational technological schemes for their processing, which, of course, will be of great practical importance in the industrial development of these deposits.

It is known, that effective extraction of gold from gold-bearing mineral raw materials largely depends on a number of its typomorphic features, including: the size of gold particles and forms of occurrence (free-visible, fine, dispersed enclosed in sulfides, various associations of intergrowths with other minerals, etc.).

According to a number of researchers [5], the size of native gold and the forms of its intergrowths with surrounding minerals are a very significant factor for determining the technological properties of gold-bearing mineral raw materials.

Large gold, being released from intergrowths during ore grinding, is easily captured during gravity enrichment, but it is difficult to float (due to its high specific gravity) and slowly dissolves when leaching with cyanide solutions.

Within the Lok-Garabag structural-formational zone of the Lesser Caucasus, there are a number of gold-bearing deposits of pyrite formation (Gedabek, Gyzybulag, Gosh, Dagkesaman). At the same time, native gold in them has different typomorphic characteristics (Table 6). In this regard, the considered deposits of gold-bearing ores in this region are characterized by various technological methods for their processing (Table 6).

Fine gold in crushed ore is partly free and partly intergrown with other sulfide minerals. Free fine gold floats well, quickly dissolves during cyanidation, but is hard-to extract by gravity methods. Fine gold in intergrowths with an open surface is also successfully dissolved during cyanidation, and the flotation efficiency of such gold particles is determined by the flotation ability of the mineral associated with them. Some of these minerals can be characterized as practically non-floatable, which causes, accordingly, certain losses of gold with tailings (waste) enrichment.

Another important factor determining the technology for processing gold-bearing minerals is the degree of ore oxidation. This factor is usually established by the degree of oxidation of the sulfides contained in them. On this basis, ores are divided into primary, oxidized and mixed (semi-oxidized). Gold in the oxidized ores of the Gedabek and Gosha deposits is present in a finely dispersed state, which makes it necessary to extract it by agitation leaching (cyanidation) of finely divided material.

Technological types and methods of processing gold-bearing sulfide and sulfide polymetallic deposits of the Lok-Garabag structural-formational zone of the Lesser Caucasus are given in Table 6.

It should be noted that only Gedabek of the deposits considered in Table 6, is currently being industrialized. The oxidized ores of the Gedabek deposit are processed by heap cyanide leaching. For primary ores, the method of flotation enrichment is adopted to obtain copper and gold-bearing flotation concentrate. The latter is processed by vat agitation cyanidation.

**Table 6** - Technological types and methods of processing gold-bearing ores of the Lok-Garabag structural-formational zone of the Lesser Caucasus.

№	Name of fields	Types ores	Mineral composition ores	Characteristics of gold	Mineral associations of gold	Technological ores features	
						Technological type	Schems enrichment
1	Gedabek	Gold-copper-pyrites	Pyrite chalcopyrit sphalerite native gold	Small and fine dispers	Pyrite-chalcopyrit Spalmerchandise	Gold Silver Copper	Heap and vat, propaganda leaching (cyaniing). Flotation
2	Gyzybulag	Gold-quartz-copper-pyrite	Chalcopyrit Pyrite Quartz	Small and fine dispers	Quartz-chalcopyrhytes	Gold Silver Copper	Flotation Gravity
3	Gosha	Gold pyrite	Pyrite Extinguishes Petzit	Pulverized-new and fine dispers	Quartz Gold-Telluride	Gold Silver Kolchedan	Flotation propaganda cyanoing sulfide concentrate
4	Dagkesaman	Gold-quartz-polymetallic	Galena Sphalerite	Pulverizedew and fine	Quartz-galena-sphalerite	Gold Silver Sphalerite Galena	Travitine Flotation

To extract gold in the deposit, a plant was built for processing complex ores using the heap leaching method, as a result of which, the extraction of gold from complex ores amounted to up to 70%. In order to reduce the loss of valuable components, a tank leaching plant was also built, which significantly increased the production of precious metals. The vat leaching technology has made it possible to recover more than 90% of the gold contained in the ore.

In the future, it is planned to build a gold processing plant in Azerbaijan, which will allow the production of pure gold of Azerbaijani production. At present, after the

primary processing of ore mined from the Gedabek deposit, the resulting concentrate is sent to Switzerland to obtain refining gold.

The construction of such a plant in Azerbaijan will justify the investment, since the geological service of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan has discovered, along with many already known, new deposits with unique gold reserves in Nakhichevan, Goygol, Dashkesan and other regions of the republic. This confirms the production potential and value of the country in the future as the owner of one of the main natural resources.

The technology for processing primary gold-copper ores of the Gyzybulag deposit has been tested in semi-industrial conditions. Based on the results of these tests, a combined gravity-flotation technology was recommended with the production of high-quality gold flotation concentrate and gold-bearing copper concentrate, recommended for processing at a copper smelter with selective extraction of gold and copper from it.

The technology of other deposits (Gosha, Dagkesaman) has been tested and recommended based on the results of laboratory studies.

#### **Conflict of Interests**

The authors declare there is no conflict of interests related to the publication of this article.

#### **REFERENCES**

- 1. Aprelkov S.E., Kharchenko Yu.I.** Gold-polymetallic and gold-silver ore occurrences of South Kamchatka. *Geology of ore deposits*. 1968, No. 5, pp. 22-25 (*in Russian*)
- 2. Akhmedov A.Z., Guseynov I.V.** Results of phase analysis of gold and silver at the Goshinsky deposit. *Bulletin of the Belarusian State University, Ser., Est., Sciences*. 2002, No. 1, pp. 134-144 (*in Russian*)
- 3. Akhmedov A.Z., Rychkov I.I.** Development of technology for the treatment of copper-gold ores of the Kyzybulag deposit. *Proceedings M: Proceedings of TsNIGRI*, 1988, issue 75, p. 117-126 (*in Russian*)
- 4. Neronsky G.N.** Typomorphism of gold in the Amur region. *Blagoveshchensk*, 1998, 3200 (pp. 256-258) (*in Russian*)
- 5. Huseynov G.S.** Typomorphic features of native gold of the Gedabak deposit. *Azerbaijan. Ores and metals*. 2013, No. 2, pp. 57-60 (*in Russian*)
- 6.** <https://ama.com.az/aze/arxiv/>

## **Assessment and Management of Environmental Risks during the Operation of Field Oil and Gas Pipelines**

**G.S. Suleymanov, H.G. Ismayilova**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)*

**For correspondence:**

İsmayilova Hajar/ e-mail: hecer.ismayilova77@gmail.com

**Abstract**

The efficiency of operation of field oil and gas pipelines is determined by the factors of reliability and operation to "failure". To make and implement management decisions aimed at reducing the likelihood of an adverse outcome and minimizing possible losses, it is necessary to classify the operational risks of pipeline systems. The paper considered the issues of classification of operational risks, possible scenarios and damages of negative consequences during the operation of field pipelines. The nature of the change in the probability of an oil spill depending on its degree has been studied. In the paper, for each risk factor, taking into account its value, a strategy for managing individual risks is proposed.

**Keywords:** risk, oil leakage, risk management, probability, pipeline, classification.

**DOI** 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_119\_128

**Received** 15.09.2023

**Revised** 15.12.2023

**Accepted** 20.12.2023

**For citation:**

*Suleymanov G.S., Ismayilova H.G.*

[Assessment and Management of Environmental Risks during the Operation of Field Oil and Gas Pipelines]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 119-128 (in Russian)*

## **Mədən neftqaz kəmərlərinin istismarı zamanı ekoloji risklərin qiymətləndirilməsi və idarə olunması**

**Q.S. Süleymanov, H.Q. İsmayılova**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

İsmayılova Həcər / email:hecer.ismayilova77@gmail.com

### **Xülasə**

Məlumdur ki, mədən neft və qaz kəmərlərinin səmərəli işi onların etibarlılığı və “işdən dayanma” halına kimi olan istismar müddəti amilləri ilə müəyyən edilir. Boru kəmərləri sistemində əlverişsiz nəticələrin və mümkün olan itkilərin minimuma endirmək üçün istismar risklərinin klassifikasiyası və qiymətləndirilməsi vacibdir. İşdə istismar risklərinin klassifikasiyası, neftqaz kəmərlərinin işi zamanı müxtəlif ssenarilər üzrə baş verən neqativ hallardan dəyən ziyanın dəyərləndirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. İşdə həmçinin ətraf mühitə neft dağılmasının dağılan neftin miqdarından asılı olaraq necə dəyişilməsi tədqiq olunmuşdur. Hər bir risk amili üçün riskin qiyməti nəzərə alınmaqla istismar risklərinin idarə olunmasının strategiyası təklif olunmuşdur.

**Açar sözlər:** risk, neft sızması, risklərin idarə olunması, ehtimal, boru kəməri, klassifikasiya.

DOI 10.52171/2076-0515\_2023\_15\_04\_119\_128

---

УДК 542.502

## **Оценка и управление экологическими рисками при эксплуатации промысловых нефтегазопроводов**

**Г.С. Сулейманов, Х.Г. Исмайылова**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Исмайылова Хаджар / email:hecer.ismayilova77@gmail.com

### **Аннотация**

Эффективность функционирования промысловых нефтегазопроводов определяется факторами надежности и эксплуатации до «отказа». Для принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь, необходима классификация эксплуатационных рисков трубопроводных систем. В работе рассмотрены вопросы классификации эксплуатационных рисков, возможные сценарии и ущерб негативных последствий при эксплуатации промысловых трубопроводов. Исследован характер изменения вероятности разлива нефти. В работе также предложена стратегия управления отдельными рисками.

**Ключевые слова:** риск, утечка нефти, управление рисками, вероятность, трубопровод, классификация.

## **Введение**

Известно, что промысловые нефтегазопроводы (ПНГ) – капитальные инженерные сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации, предназначенны для бесперебойной транспортировки природного газа, нефти, нефтепродуктов, воды и их смесей от мест их добычи до установок комплексной подготовки. Нормальное функционирования ПНГ определяется факторами надежности и эксплуатации до «отказа», т.е. «низким» риском до выхода его из строя, при котором проводят замену отказавшего оборудования, восстановление герметичности и иные мероприятия для восстановления работоспособности в пределах текущих производственных потребностей.

С целью принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь, необходима классификация эксплуатационных рисков при функционировании ПНГ с выделением основных риск образующих событий и определения рисков.

Проблемы, связанные с негативными рисками, образующими событиями, сопровождающие эксплуатацию ПНГ, в т. ч. отказ, полная или частичная потеря работоспособности, могут происходить в процессе эксплуатации и связаны с несколькими факторами [1-6]: потеря проектных характеристик; ошибки при проектировании; эксплуатация трубопроводов, не соответствующая проектным решениям; негативные воздействия третьих лиц или ошибки обслуживающего персонала; отказ систем, единиц оборудования, в т. ч. Резервных, из-за которых в будущем может произойти

полная остановка трубопровода; утечка, разгерметизация элементов нефтегазопроводов; отказ вспомогательных систем, обеспечивающих обнаружение неисправностей, отказов и снижения последствий отказов; прочее.

## **Постановка задачи**

На практике необходимо сокращать и вероятность возникновения таких проблем, и их последствия. Величина, сочетающая в себе вероятность негативного события и его последствия, – риск, величину которого можно вычислить по формуле [7, 8]:

$$R = P \cdot L,$$

где  $R$  – риск;  $P$  – вероятность риск образующего события;  $L$  – ущерб или убыток в связи с этим риск образующим событием в стоимостном выражении.

Основным риск образующим событием для ПНГ на этапе проектирования следует считать нарушение целостности.

Работа по управлению риском нарушения целостности на этапе проектирования состоит из оценки и анализа составляющих риска (вероятности и ущерба), разработки проектных решений, которые должны снизить риски до установленных показателей эксплуатационной надежности на протяжении всего жизненного цикла.

Исходные данные для расчета математической вероятности и ущерба в стоимостном выражении в случае отказа трубопровода могут быть получены только по результатам инженерных и экологических изысканий и разработанной на их основе и в соответствии с основными техническими решениями проектной документации. На этом основании оценка и приоритизация рисков производится с применением балльной оценки по 25-балльной шкале.

При этом вероятность и последствия негативного события нарушения целостности могут получить оценку от 1 до 25-ти.

Все возможные опасности (угрозы), способные привести к отказу ПНГ, можно классифицировать следующим образом [7, 8, 10]: общие эксплуатационные опасности (угрозы) – условия работы, отказы технологического оборудования, ошибочные действия или бездействие персонала; опасности (угрозы), связанные с внешними воздействиями – опасности, связанные с деятельностью соседних производств или объектов (техногенные опасности), а также природные опасности, акты саботажа и диверсии.

В зависимости от объема вытекающего продукта можно выделить несколько типов нарушений целостности (дефектов) трубопровода: через свищи (площадь дефектного отверстия – до  $10^{-4}$  м<sup>2</sup>); через трещины в трубопроводе длиной до 30% от условного диаметра трубопровода; через трещины в трубопроводе длиной до 75% от условного диаметра трубопровода; через трещины в трубопроводе длиной более 75% от условного диаметра трубопровода.

Описание наиболее распространенных и вероятных риск-факторов (угроз), потенциально способных привести к отказу ПНГ, приведено в [7].

Следует отметить, что каждое рассматриваемое нарушение целостности ПНГ может происходить от одного и более риск-факторов. Из практики эксплуатации промышленных трубопроводов известно, что далеко не все нарушения целостности (дефекты) приводят к отказу и сам по себе отказ ПНГ может иметь различные негативные последствия. Возможные развития сценариев отказа на ПНГ показаны в таб-

лице 1. На основе анализа возможных сценариев отказа установлено, что основными последствиями аварии на ПНГ являются: загрязнение окружающей среды (экологический ущерб); гибель (травмирование) людей (социальный ущерб); повреждение имущества и потери углеводородов (материальный ущерб).

Для оценки и приоритизации эксплуатационных рисков риски ПНГ можно распределить по 5 категориям: от 1-й – низкой до 5-й – очень высокой. Классификация с точки зрения частоты отказа и балльной оценки вероятности отказа ПНГ показана в таблице 2. При оценке вероятности отказа ПНГ дается балльная оценка от 1 до 25 для каждого из риск образующих событий: 1-й этап – отнести вероятность наступления риск образующего события к одной из 5 категорий по 1-му столбцу таблицы на основании описания в столбце 2; 2-й этап – экспертно оценить вероятность по 5-балльной шкале, где именно находится оценка – ближе к нижней границе, к верхней или в середине и поставить соответствующее количество баллов в заданном интервале, указанном в столбце 3. При отнесении вероятности к одной из категорий («низкая» - ... «очень высокая») выставляются баллы в рамках заданного в таблице 3 для каждой категории вероятности интервала. При оценке вероятности необходимо учитывать опыт эксплуатации объектов аналогов, результаты доступных научных исследований и расчетов. В случае отсутствия достаточной информации для оценки вероятности наступления риск образующего события можно принимать среднее значение – 13 баллов.

Критерии оценки последствий отказа ПНГ приведены в таблице 4.

**Таблица 1 – Возможные сценарии отказа**  
**Table 1 – Possible Failure Scenarios**

№	Типовые сценарии развития отказа	Схема развития сценария
C1	Выброс горючей жидкости /легко воспламеняющейся жидкости без возгорания	Разрушения трубопровода – выброс жидкой фазы и газа (при наличии) – растекание опасного вещества по территории и дегазация жидкой фазы (при наличии растворенного газа) с частичным испарением пролива – безопасное рассеивание газа и паров жидкой фазы – загрязнение окружающей среды
C2	Пожар пролива горючей жидкости / легко воспламеняющейся жидкости	Разрушение трубопровода – выброс в окружающую среду жидкой фазы и газа – растекание жидкой фазы – возможное частичное испарение горючей жидкости – воспламенение проливной жидкой фазы при наличии источника зажигания – пожар пролива – попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования – последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества – загрязнение окружающей среды
C3	Сгорание топливно-воздушной смеси на открытом воздухе	А. Разгерметизация газопровода (трубопроводы нефтяной эмульсии с высоким содержанием газа) – выброс газа в открытое пространство – образование взрывоопасной газовой смеси взрыв (дефлаграционное сгорание) при наличии источника инициирования – поражение оборудования и персонала ударной волной, термическое поражение
		Б. Полная или частичная разгерметизация трубопровода с нефтью (нефтяной эмульсией) – поступление в окружающую среду газа и паров в газообразном состоянии, разлив и дегазация нефтяной эмульсии – образование взрывоопасной топливно-воздушной смеси – возникновение источника зажигания – зажигание облака – взрыв топливно-воздушной смеси с образованием ударной воздушной волны – попадание в зону возможных поражающих факторов, людей и/или оборудования – возможная эскалация аварии – последующее развитие аварии по сценарию C1
C4	Выброс газа без возгорания	Разрушение газопровода выброс газа – формирование и распространение взрывоопасного облака – безопасное рассеивание газа без возгорания – загрязнение окружающей среды – возможное последующее развитие аварии и сгорание газовой смеси в случае скопления газовой смеси в помещениях и т.п.
C5	Факельное горение газа	Разрушение газопровода – истечение газа под давлением с мгновенным воспламенением – факельное горение истекающей струи – воздействие пламени на оборудование, поражение людей – последующее развитие аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества

**Таблица 2** – Классификация для оценки вероятности отказа ПНГ  
**Table 2** – Classification for assessing the probability of APG failure

Вероятность	Частоты риск образующего события	Оценка, баллы
Низкая	Для данного типа ПНГ с применением предварительных проектных решений отказ невозможен или возможен не чаще чем 1 раз в 10 лет	1-5
Вероятно	Для данного типа ПНГ с применением предварительных проектных решений вероятны от 2 до 3 отказов на протяжении 10 лет эксплуатации	6-10
Средняя	Для данного типа ПНГ с применением предварительных проектных решений может произойти до 2 отказов на протяжении 3 лет эксплуатации	11-15
Высокая	Для данного типа ПНГ с применением предварительных проектных решений возможно более 2 отказов на протяжении 3 лет эксплуатации	16-20
Очень высокая	Для данного типа ПНГ с применением предварительных проектных решений возможен отказ уже в течение 1 года эксплуатации	21-25

Результат оценки последствий отказов ПНГ принимается по максимуму из 3 оцениваемых областей. Оценка последствий отказа для каждой их оцениваемых

областей проводится в 2 этапа: 1-й этап – отнести последствия наступления риск образующего события к одной из 5-ти категорий по 1-му столбцу таблицы 4 на основании описания в столбце 2 (социальный ущерб), столбце 3 (материальный ущерб) и столбце 4 (экологический ущерб); 2-й этап – экспертно оценить последствия по 5-балльной шкале, где именно находится оценка – ближе к нижней границе, к верхней или в середине и поставить соответствующее количество баллов в заданном интервале, указанном в столбце 5 таблицы 4. Оценка последствия реализации риск образующего события и, как следствие, нарушения целостности ПНГ зависит от выбранного сценария развития отказа (см. таблицу 2). Как правило, реализация сценариев с более тяжелыми последствиями имеет значительно более низкую вероятность, чем реализация сценариев с минимальными последствиями. Например, свищ по причине внутренней коррозии ПНГ наиболее часто приводит к незначительному разливу нефти, подтоварной воды или утечке газа, а случаи возгорания, взрыва, крупных разливов нефти, подтоварной воды и утечек газа крайне редкие. При оценке последствий необходимо учитывать как минимум 2 сценария (наиболее распространенный на практике и наиболее тяжелый). В результате по части риск образующих событий должно быть оценено 2 риска, которые будут иметь различные баллы по вероятности и последствиям. Такие риски (R) должны соответствовать наиболее вероятному (R1) и наиболее тяжелому/катастрофическому (R2) по последствиям сценариям.

**Таблица 3** – Социальный, материальный и экологический ущерб

**Table 3** – Social, material and environmental damage

Шкала последствий «У»	Социальный ущерб	Материальный ущерб	Экологический ущерб	Оценка, баллы
Очень высокие	Возможен групповой смертельный случай или постоянная потеря трудоспособности 2-х и более лиц	Остановка эксплуатации не менее чем 1/3 добывающих скважин актива (месторождения нефти и газа) более чем на 24 часа	1. Ущерб для окружающей среды с многолетними последствиями регионального масштаба. 2. Выброс загрязняющих веществ на особо охраняемых территориях и в пределах населенных пунктов.	21-25
Высокие	Возможен смертельный случай и негативное воздействие на персонал и третьих лиц в т.ч. с постоянной потерей трудоспособности	Остановка эксплуатации не менее чем 1/3 добывающих скважин актива (месторождения нефти и газа) до 24-х часов	1. Ущерб для окружающей среды регионального масштаба с возможностью устранения последствий в течение не более чем 1-го года. 2. Локальный выброс загрязняющих веществ на особо охраняемых территориях и в пределах населенных пунктов с возможностью устранения последствий за период нескольких дней или недель.	16-20
Средние	Вероятны травмы и негативное воздействие на персонал и третьих лиц в т.ч. с временной потерей трудоспособности	Остановка эксплуатации до 1/3 добывающих скважин актива (месторождения нефти и газа) более чем на 24 часа	1. Воздействие со значительным ущербом для нечувствительной окружающей среды, которая может быть восстановлена до эквивалентного состояния от 1 до 5-ти лет. 2. Воздействие с локальным ущербом для чувствительной окружающей среды, которая может быть восстановлена до эквивалентного состояния от 1 до 5-ти лет.	11-15
Ниже среднего	Вероятны травмы и негативное воздействие на персонал и третьих лиц в т.ч. с необходимостью амбулаторного лечения и профилактики	Остановка эксплуатации до 1/3 добывающих скважин актива (месторождения нефти и газа) до 24-х часов	1. Воздействие со значительным ущербом для нечувствительной окружающей среды, которая может быть восстановлена до эквивалентного состояния не более чем за 1 год. 2. Воздействие с локальным ущербом для чувствительной окружающей среды, которая может быть восстановлена до эквивалентного состояния не более чем за 1 год.	6-10
Низкие	Отсутствует негативное воздействие на жизнь и здоровье персонала и третьих лиц	Производственные потери незначительные и не отражаются на выполнении плановых ежемесячных производственных показателей	Воздействие с локальным ущербом для окружающей среды, которая может быть восстановлена до эквивалентного состояния за период нескольких дней или недель	0-5

**Таблица 4** – Классификация эксплуатационных рисков

**Table 4** – Classification of operational risks

№ п/п	Категория ПНГ	Категория риска	Величина риска (в результате балльной оценки)
1	Самый ответственный	1 – Очень высокий	От 25 и более
2	Ответственный	2 – Высокий	От 20 до 25
3	Опасный	3 - Средний	От 15 до 25
4	Не опасный	4- Ниже среднего	От 10 до 15
5	Не ответственный	5 - Низкий	1 до 10

**Таблица 5** – Стратегия управления рисками

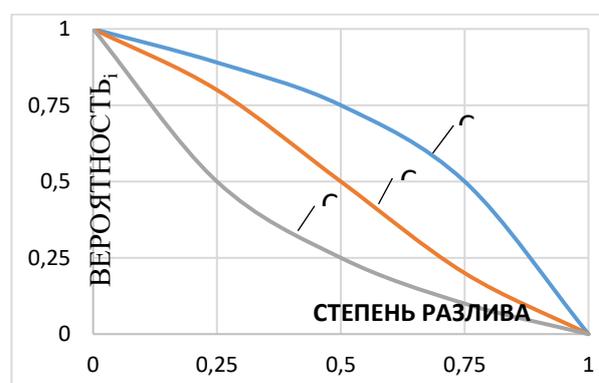
**Table 5** – Risk management strategy

№ п/п	Стратегия управления риском	Категория риска	Величина риска (в результате балльной оценки)
1	№4 – «Устранение» с дублированием не менее ½ проектных решений по ликвидации риска	1 – Очень высокий	От 25 и более
2	№4 – «Устранение»	2 – Высокий	От 20 до 25
3	№3 – «Сокращение»	3 – Средний	От 15 до 20
4	№2 – «Мониторинг»	4 – Ниже среднего	От 10 до 15
5	№1 – «Принять к сведению»	5 – Низкий	От 0 до 10

Известно, что уровень риска при этом во многом зависит от масштаба ожидаемых потерь и вероятности их возникновения. Поэтому процедура оценки риска предполагает, прежде всего, знание двух параметров – стоимость ущерба от аварии (отказа) и вероятность этого события. Интегральный риск для ряда событий определяется как сумма рисков этих событий. При этом вероятность конечного события определяется произведением вероятностей событий.

Опираясь на опыт эксплуатации нефтепроводов по сей день и в соответствии классификации разлива нефти из трубопроводов можно оценить факторы эколого-экономического риска.

Примем, что величина аварийной утечки составляет  $q$  ( $\text{м}^3/\text{час}$ ), тогда степень утечки (разлива) или относительная утечка составит:  $\frac{q}{Q_0}$  ( $Q_0$  – расход ( $\text{м}^3/\text{час}$ ) в трубопроводе до проявления аварии).



**Рисунок** – Вероятность разлива нефти в зависимости от степени разлива.  $C_1$  –  $C_3$  – различные сценарии

**Figure** – The probability of an oil spill depending on the extent of the spill.  $C_1$  -  $C_3$  - different scenarios

Тогда изменение вероятности разлива нефти ( $P_{р.н.}$ ) в зависимости от степени разлива ( $\frac{q}{Q_0}$ ) можно представить так, как показано на рисунке.

Так как трубопроводы при нормальной эксплуатации обеспечивают полную герметизацию, потенциальные утечки могут произойти в результате нарушения герметичности, и, как показывает практика, в основном это протечки через неплотности трубопроводов, соединений, арматуры, а также аварийные отверстия различных размеров, как видно из рисунка, в отличие от незначительных утечек для больших значений разливов нефти вероятность их возникновения очень низкая ( $< 0,1$ ) [9].

Риски, связанные с эксплуатацией ПНГ, можно классифицировать соответственно с категориями по таблице 4. Категория ПНГ присваивается по максимальному риску, связанному с одним из риск образующих событий, которые могут произойти в процессе его эксплуатации.

Риск по определению содержит в себе 2 координаты – вероятность и последствия, наиболее удобным его математическим аналогом является «вектор». Поэтому величина риска ( $R$ ) есть длина 2-хмерного вектора, у которого координата  $\Pi$  – баллы за последствия отказа, а координата  $B$  – баллы за вероятность отказа. При этом величина риска рассчитывается по формуле [8]:

$$R = \sqrt{B^2 + \Pi^2}$$

где  $R$  – риск;  $B$  – вероятность, оцененная в баллах от 0 до 25;  $\Pi$  – последствия, оцененные в баллах от 0 до 25.

Как известно, немаловажное значение имеет управление эксплуатационными

рисками технологических промышленных трубопроводов.

Результаты оценки рисков при дальнейшей эксплуатации могут применяться: для определения периодичности и объема ремонта, капитального ремонта, технического диагностирования; для разработки ранжированного по рискам перечня мероприятий по поддержанию работоспособности и приведению в нормативное состояние ПНГ в процессе эксплуатации; для расчета инвестиций (физических объемов работ) на восстановление работоспособности ПНГ с целью вывода из состояния бездействия, реконструкции действующих ПНГ и обустройства новых месторождений нефти и газа; иные виды работ на протяжении цикла ПНГ.

Выбор стратегий управления рисками проводится отдельно для каждого риск образующего события в зависимости от категории и величины риска. Соответствие между категорией риска и выбранной стратегией управления риском представлено в таблице 5.

Для каждого риск-фактора, который может привести к отказу проектируемого нефтегазопровода, должны быть предусмотрены проектные решения и требования к эксплуатации, устраняющие / снижающие негативные последствия и/или снижающие вероятность нарушения целостности ПНГ. Проектные решения по снижению эксплуатационных рисков и повышению надежности ПНГ разрабатываются в соответствии с действующими нормами проектирования и безопасной эксплуатации промышленных трубопроводов.

## **Заключение**

Дана классификация эксплуатационных рисков промышленных трубопроводов сбора и транспортировки нефти и газа.

Исследован характер изменения вероятности утечки (разлива) нефти в зависимости от степени разлива.

Предложена стратегия управления эксплуатационными рисками при функционировании промышленных нефтегазопроводов.

## **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## **REFERENCES**

1. Instrukciya po uchotu nefti pri ee transportirovke. Ufa, VNIISTP neft, 1995, 68s. (in Russian)
2. Əhmədov B.Ə., İsmayılova H.Q. Azərbaycanca ətraf mühitin çirklənməsinin əsas mənbələri və ekoloji durumun qiymətləndirilməsi / *Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri* №6(40), 2005, s.79-86 (in Azerbaijani)
3. Kravchenko V.F. Oхрана okrujayushey sredy pri transporte i xranenii nefti i nefteproduktov // *Obzory zarubejnoj literatury*. M, VNIİOENQ, 1976 (in Russian)
4. Kontrol utecek nefti i nefteproduktov na maqistralnyx truboprovodax pri ekspluatatsii M., *VNIİOENQ*, 1981, s. 2-16 (in Russian)
5. İsmayılova X.Q. Ob ocenke usherba ot avariynyx poter dlya razlichnyx kateqoriy utecek nefti / *Materialy 69 mejdunarodnoy molodejnoj nauchnoy konferenciy "Neft i qaz - 2015"* Moskva, 2015, s.98 (in Russian)
6. Kremmer V.N. Sistema kontrolya utecek nefti i nefteproduktov iz truboprovodov // *Transport i xranenie nefti i nefteproduktov. Zarubejniy opyt: EKSP.M.*, VNIİOENQ, 1980. (in Russian)
7. Metodicheskoe rukovodstvo po ocenke stepeni riska avarii na maqistralnyx nefteprovodax. Rukovod-yashiy document, M., 2002. (in Russian)
8. Shaxov V.V. Vvedenie v straxovanie: ekonomicheskiy aspekt. M. *Finansy i statistika*, 1992, 192s. (in Russian)
9. İsmayılov G., İsmayılova H., Babirov H., Jabrayilov R. Assessment of environmental oil spills and economic-environmental risks. RT and A, special issue №4(70), vol.17, november 2022, p. 212-217 (in English)
10. İsmayılov Q.Q., Səfərov N.M., Calalov Q.İ. Neftçixarmada su-neft sistemləri əsasında reotexnoloji üsulların yaradılması və tətbiqinin perspektivliyi. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, cild 8, №1, 2016, s.74-84 (in Azerbaijani)

## Contents of the 15th volume (January – December 2023)

### № 1

#### Aviation

- Alizada Sh.S. Civilian use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and threat to data privacy .....7  
Mammadzada T.H. Launching satellites for earth radiation monitoring using low-thrust engines .....16  
Aghayev E.A. Influence of geometric parameters of the landing gear on the center of gravity of the aircraft .....26  
Karimli T.I. Undisturbed universal pendulum device for determining spatial position of aircraft .....34

#### Mechanics and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko D.O., Javadov M.Ya., Zhuravlev D.Yu., Andrejchikov Ye.Yu., Nischuk V.V.,  
Volchenko N.A., Yevchenko A.S. Hydrogen wear of friction pairs of band-shoe brake .....43  
Aliyev A.M. Study of the mechanism of tooth wear in the drilling rotor .....55

#### Oil and Gas

- Mammadova G.G., Ismayilov Sh.M. Hydrodynamic study of compressor and gas lift oil wells .....65  
Suleimanova V.M., Jabizade N.I. Calculation of oil recoverable reserves on the basis of dynamic models.....71  
Mammadova Ye.V. Impact of capillary end effect during displacement in layered-heterogeneous formations .....79

#### Chemistry and Chemical Technology

- Mammadova S.R., Munshieva M.K., Alieva F.B., Gasanova M.M. Synthesis and physico-chemical study of  
supramolecular compounds Sm and Gd (III) with terephthalic acid .....85

#### Economy

- Salimova S.G. Lorenz curve application in oil-gas industry economy .....93

#### Information Technology

- Mammadov F.H., Hasanov M.H., Garayev N.Ch. Assessment of the memory buffer size in NGN networks when trans-  
ferring different traffic types.....102

#### Ecology

- Aliyeva E.N. Remote sensing method for determination of industry pollution sites .....110  
Aykan N.F., Malikova I.H., Efendi A.C., Babayev E.M., Rustamova C.T., Aliyeva N.R., Yunusova F.A. Neut-  
ralization of wastewater obtained from the production of alkyd resins.....117

### № 2

#### Aviation

- Karimli T.I. Tuning for the Schuler period of primary flight and inertial navigation devices .....7

#### Mechanics and Mechanical Engineering

- Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Nischuk V.V., Andreichikov Ye.Yu., Skrypnyk V.S.,  
Zhuravlev D.Yu. Sedimentation and diffusion in nanofluids in rotating systems of metallic friction elements of  
brake (Part I) .....15  
Ibrahimova E.N. Causes of Microcracks Silicon Coated in the inside pipes .....23  
Gafarzada H.V., Gafarov A.M., Khankishiyev I.A. The analysis of information processing methods to assess  
reliability of machines and equipment .....29  
Suleymanov P.H. Analysis of reliability and durability of machines in extreme conditions .....42

#### Oil and Gas

- Ahmadov A.S., Dadash-zada A.R. Influence of gas bubbles on the operation of a centrifugal pump .....53  
Aliyeva O.A., Aliyev A.S. Calculation of the flow rate of a gas dynamically imperfect production well according  
to the degree of formation penetration in underground gas storages (UGS) .....59  
Hajibalayev E.R. Dynamic viscosity of gases at temperature and pressure .....64

#### Information Technologies

- Aliyev B.H., Gashimov Kh.M., Mamedova A.E., Sultanova J.R. Application of Nanotechnological Devices in  
Mobile Phones .....69  
Abdiyeva-Aliyeva G.A. Awareness and employment impact analysis in cyber security .....74  
Safarova A.A. Solution of the problem of optimizing the reactor block of a catalytic cracking unit .....84

#### Energy Industry

- Abbasov R.M., Manafov E.K., Huseynov F.H. Investigation of the voltage balance scheme to protect the  
generator from ground fault .....89  
Balametov A.B. Application of controlled FACTS an effective way to increase stability and optimize voltage  
levels in the power system .....97  
Melikov E.A., Magerramova T.M. Strategy for optimizing the functioning of the vacuum block at the  
technological equipments .....110

#### Geology

- Mammadova S.B., Jafarova E.N. Study of the geological structure of the Jabrayil foothills .....116

#### Ecology

- Bagirov A.A., Shirinov M.M., Samedov V.N., Bogopolsky V.O. Environmental risks associated with the exploi-  
tation of oil fields .....122

### № 3

<b><u>Aviation</u></b>	
<b>Ismayilov I.M.</b> Concept of Aircraft Flight Safety Management Using Artificial Intelligence .....	7
<b>Fatyanova N.V.</b> Increasing the Corrosion Resistance of Metal Through the Application of Fillers Based on Nanochalk and Nanotalk in Paint and Varnish Materials in Shipbuilding and Aircraft Industry .....	15
<b><u>Mechanics and Mechanical Engineering</u></b>	
<b>Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Volchenko D.A., Burava A.S., Prisyazhniy A.V., Zhuravlev D.Yu.</b> Sedimentation and Diffusion of Nanofluids in Rotating Systems of Metal Friction Elements of Brake (Part II) .....	28
<b>Aliyeva S.Y., Kerimova I.M.</b> The Stress Analysis in Pulleys and Blocks .....	38
<b><u>Oil and Gas</u></b>	
<b>Pashayev A.M., Valiyev N.A., Asgerov K.E., Musayev A.A., Mammadov I.Kh., Allahverdiyev K.R., Sadikhov I.Z.</b> Distinctive Features of Raman Spectroscopy of Crude Oils of the Absheron Peninsula .....	51
<b>Nagizade A.R., Ismayilova F.B.</b> Calculation of Structural Reliability of Main Gas Pipelines Using Modern Software Application .....	59
<b>Dadash-zada X.I., Gadashova E.V.</b> Application of Three-Dimensional Models on Spherical-Radial Filtration the Skin Zone .....	66
<b>Mamedov A.T., Huseynov M.Ch., Musurzaeva B.B., Jafarova A.A.</b> Features of Elastoplastic Deformation Powder Composites of the "Iron Cast" Type .....	71
<b><u>Information technologies</u></b>	
<b>Hasanov M.H., Mammadov F.H., Sultanova S.A., Israfilova Q.A.</b> Study of Probability-Time Characteristics of GSM Standard Mobile Telecommunication Networks .....	80
<b>Mammadov F.H., Hasanov M.H., Garayev N.Ch.</b> Assessment of the Memory Buffer Size in NGN Networks when Transferring Different Traffic Types .....	90
<b>Aliyeva I.N.</b> Pseudorandom Number Generator Based on Linear Feedback Shift Register Algorithm .....	97
<b>Mammadova K.A.</b> TOPSIS Method and Fuzzy Rules on The Decision Making Based .....	104
<b><u>Energetics</u></b>	
<b>Huseynov F.H.</b> Diagnostic Monitoring of Electric Motors Based on Artificial Intelligence Methods .....	111
<b><u>Ecology</u></b>	
<b>Askerov K.A., Ahmadova S.T.</b> Application of Express Methods for the Detection of Explosive Substances .....	122

### № 4

<b><u>Aviation</u></b>	
<b>Agayev E.A.</b> Distribution of Traffic Intensity of Cargo Vehicles in Airport Area .....	7
<b><u>Mechanics and Mechanical Engineering</u></b>	
<b>Janahmadov A.Kh., Volchenko N.A., Javadov M.Y., Volchenko D.A., Fidrovskaaya N.N., Zhuravlev D.Yu., Aleynikova O.M., Skrypyuk V.S., Slepuzhnikov Ye.D.</b> Sedimentation and Diffusion in Nanofluids in Rotating Systems of Metal Friction Elements of Brake (Part III) .....	14
<b>Ibrahimli E.N.</b> Strength of Silicate-Enamel Coating of Heat Exchanger Pipe .....	21
<b><u>Oil and gas</u></b>	
<b>Dadashzade M.A., Mammadova G.G.</b> The Effect of Skin Factor on Well Production .....	26
<b>Gurbanov A.N., Sardarova I.Z.</b> Prospects of Using the Cavitation Technologies in Transportation .....	32
<b>Novruzova S.G., Gadashova E.V., Aliyev I.N.</b> Theoretical Hydrodynamic Problems of Developing Circular Field of Viscous-Plastic Oil with Circular Rows of Exploitation Wells .....	40
<b><u>Chemistry and Chemical Technologies</u></b>	
<b>Jafarov V.J., Manafov M.A., Alkhanov P.S., Khalilova S.M., Rajabova M.C.</b> Humbleness Conditions of Polymer Mixtures .....	47
<b>Gojayeva S.S., Nazarov N.M., Babayev S.S., Israfilova Z.T., Seyidova S.T., Grigoryeva N.M., Akhmedova J.J.</b> Synthesis of Some Heterotic Cycle Azolidines .....	52
<b>Hajiyev H.G., Valiyev N.A.</b> Investigation of the Effect of the Solution Diesel-Alkaline Waste in Water on the Process of Capillary Impregnation .....	60
<b><u>Energy Industry</u></b>	
<b>Huseynov E.N., Abbasov R.M., Huseynov F.H.</b> The Protection of Generator Stator Windings by Means of Subharmonic Current Method .....	70
<b>Humbatov R.T., Namazov M.B.</b> New Approach to Increase the Solar Panels Energy Parameters .....	77
<b>Ahmadov R.A.</b> The Acousto-Optical Means for Optimal Radio Receiving .....	89
<b><u>Information Technology</u></b>	
<b>Rzaev Kh.N., Bagirov E.Y., Mammadov M.F.</b> Results of Statistical Security Assessment of Generators Using M-Ary Codes Based on the NIST 802STS Package .....	96
<b><u>Ecology</u></b>	
<b>Guseynov G.S., Mamedov I.A., Teymurzade L.T.</b> Extraction of Gold from Sulfide and Sulfide-Polymetallic Ores from the Lok-Garabagh Structural-Formational Zone of the Lesser Caucasus .....	108
<b>Suleymanov G.S., Ismayilova H.G.</b> Assessment and Management of Environmental Risks during the Operation of Field Oil and Gas Pipelines .....	119
<b><u>Contents of the 15th volume</u></b> (January – December 2023).....	129

## ARTICLE SUBMISSION GUIDELINES

The editorial board of the journal reviews articles that correspond to the scientific profile of the journal, have not been published anywhere and have not been submitted to the editors of other journals.

The finished article should be sent to the editorial office by e-mail: **amaxeber@yahoo.com**

The article can be written in any of three languages: Azerbaijani, English or Russian (max 10 pp.) and must include:

1. Title of the article, Name, Middle Name (if applicable), Surname of authors, names of organizations of each author and addresses of organizations;

2. E-mail of one of the authors;

3. Annotation (about 1000 characters);

4. Key words (up to 6 words).

All of the above information must be translated into three languages.

5. The text of the article with a breakdown into *Introduction, Purpose of work, Problem statement, Problem solution, Conclusion*.

6. Universal Decimal Classification code, also known as УДК.

7. The transliterated in the Latin alphabet the list of used References (min 7 – max 10) with full bibliographic data on the source, including a link to journal "Herald of the Azerbaijan Engineering Academy". The list is compiled in the order of the references in the text (1, 2, 3 ...), and not randomly.

8. Titles of figures and tables in the language of writing the article plus their translation into English. Figures and tables are located directly in the text of the article next to the mandatory links to them.

The submitted manuscripts undergo a plagiarism check procedure. The originality index must be at least 75%.

Articles are reviewed by doctors or candidates of sciences appointed by the editorial board. The following are involved in reviewing articles: members of the editorial board, editorial board and leading experts. The review period is up to 3 months. In case of comments on the article, the editors will contact the author. After repeated author's editing, the article is sent for re-review, and then, based on the final opinion of the reviewer, the editorial board approves the article for publication or rejects it. The editors reserve the right to make editorial changes.

In order to avoid typing errors in the layout of the article, please send the text and figures in electronic form using format .docx of Microsoft Word, and font Times New Roman 12, interval 1,15.

No fee is charged from the authors for the publication of the manuscript.

More detailed information and a sample article formatting can be found on the website: **ama.com.az**

## MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBATI QAYDALARI

Jurnalın redaksiya heyəti jurnalın elmi istiqamətinə uyğun gələn, heç bir yerdə nəşr olunmayan, digər jurnallara verilməyən məqalələrin əlyazmalarına baxır.

Hazır məqalə redaksiyaya, **amaxeber@yahoo.com** elektron ünvanına göndərilməlidir.

Məqalə azərbaycan, ingilis və ya rus dillərində 10 səhifədən çox olmamaq şərti ilə yazıla bilər və aşağıdakıları özündə əks etdirməlidir:

1. Məqalənin adı, müəlliflərin A.A. Soyadı, hər bir müəllifin çalışdığı müəssisənin adı və ünvanı;

2. Müəlliflərdən birinin E-maili;

3. Annotasiya, 1000 simvol;

4. Açar sözlər, 6 sözdən çox olmayaraq;

Bütün bu məlumatlar hər üç dildə təqdim olunmalıdır.

5. *Giriş, İşin məqsədi, Məsələnin qoyuluşu, Məsələnin həlli, Nəticə* - bölmələri ilə məqalənin mətni;

6. UOT kodu;

7. İstifadə olunmuş mənbələrin latın dilində transliterasiya edilmiş mətninin siyahısı (7-10 aralığında), mənbə haqqında tam məlumat. Həmçinin "Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri" jurnalına istinad. Siyahı təsadüfi yolla deyil, mətdəki istinadların sırasına əsasən (1, 2, 3...) tərtib olunur.

8. Şəkil və cədvəllərin məqalənin yazıldığı dildə adları, həmçinin, onların ingilis dilinə tərcüməsi. Şəkil və cədvəllər birbaşa məqalənin mətnində onlara istinadların yanında yerləşdirilməlidir.

Redaksiyaya daxil olmuş məqalələr plagiat yoxlama prosedurundan keçir. Orijinallıq indeksi azı 75% olmalıdır.

Məqalələrə redaksiya heyəti tərəfindən təyin olunmuş elmlər doktorları və ya namizədləri rəy verir. Məqalələrə rəy vermək üçün redaksiya heyəti və şurası üzvləri, eləcə də aparıcı mütəxəssislər cəlb edilir. Rəyin verilmə müddəti 3 aya qədərdir. Məqaləyə mənfi rəy verildiyi halda redaksiya bu barədə müəllifə məlumat verir. Müəlliflərin təkrar düzəlişlərindən sonra məqalə yenidən rəyçilərə göndərilir, sonra isə rəyçinin son rəyinə əsasən redaksiya heyəti məqaləni nəşr üçün təsdiqləyir və ya imtina edir. Redaksiya mətni redaktə etmək hüququna malikdir.

Mətnin yenidən yığılması zamanı yarana biləcək nöqsanları aradan qaldırmaq məqsədi ilə məqalə mətni Word for Windows formatında, Times New Roman 12 şrifti, 1,15 interval ilə elektron şəkildə də redaksiyaya təqdim edilməlidir.

Əlyazmanın nəşri üçün müəlliflərdən ödəniş alınır.

Daha çox məlumat və məqalənin tərtibatı nümunəsi saytda: **ama.com.az**

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала рассматривает статьи, которые соответствуют научному профилю журнала, нигде ранее не опубликованы и не переданы в редакции других журналов.

Готовую статью следует направить в редакцию на e-mail: **amaxeber@yahoo.com**.

Статья может быть написана на азербайджанском, английском либо русском языке общим объемом не более 10 страниц и должна включать в себя:

1. Название статьи, И.О. Фамилию авторов, наименования и адреса организаций, где работают авторы;

2. E-mail одного из авторов для переписки;

3. Аннотацию (около 1000 символов);

4. Ключевые слова (до 6 слов).

Вся вышперечисленная информация должна быть переведена на три языка.

5. Текст статьи с разбивкой на *Введение, Цель работы, Постановка задачи, Решение задачи, Заключение*;

6. Код УДК;

7. Транслитерированный на латинице список использованной литературы (в пределах 7–10) с указанием полных библиографических данных об источнике. В том числе ссылка на журнал «Вестник Азербайджанской Инженерной Академии». Список составляется в порядке указания ссылок в тексте по возрастанию: 1, 2, 3..., а не вразброс.

8. Названия рисунков и таблиц на языке написания статьи плюс их перевод на английский язык. Рисунки и таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи рядом со ссылками на них.

Поступившие в редакцию рукописи проходят процедуру проверки на плагиат. Индекс оригинальности должен составлять не менее 75%.

Статьи рецензируются докторами и кандидатами наук, назначаемыми редакционной коллегией. К рецензированию статей привлекаются: члены редколлегии, редсовет и ведущие специалисты. Срок рецензирования составляет до 3 месяцев. В случае замечаний к статье редакция свяжется с автором. После повторного авторского редактирования статья направляется для повторной рецензии, а затем на основании окончательного заключения рецензента редколлегия утверждает статью для публикации либо отклоняет. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения.

С целью исключения опечатки при верстке статьи просьба прислать текст и рисунки в электронном виде в формате Word for Windows, шрифт Times New Roman 12, интервал 1,15.

Плата с авторов за публикацию рукописи не взимается.

Более подробная информация и образец оформления статьи – на сайте: **ama.com.az**

**Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının**  
**XƏBƏRLƏRİ**  
*Beynəlxalq elmi-texniki jurnal*

**HERALD**  
**of the Azerbaijan Engineering Academy**  
*The international science-technical journal*

**ВЕСТНИК**  
**Азербайджанской Инженерной Академии**  
*Международный научно-технический журнал*

Cild 15. № 4  
Vol. 15. № 4  
Том 15. № 4

**BAKİ – 2023**

İnformasiya şöbəsinin müdiri  
***Naila Əskərova***

Nəşriyyat və yayım şöbəsinin müdiri  
***Akif Dənziyev***

Komputer operatoru  
***Pərvin Süleymanova***

**“Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının**  
**XƏBƏRLƏRİ”**

jurnalı redaksiyanın kompüterlərində yığılmış və  
hazır diapozitivlərdən **“Vusal Co”**  
mətbəəsində ofset üsulu ilə çap olunmuşdur.

*Çapa imzalanıb 27.12.2023,*  
*formatı 60x84 1/8,*  
*kağız ofset, f.ç.v. 16.5*  
*Tirajı 1105 əd.*